

Prüfer, Thomas

Vergleichende Betrachtung von Technologien zur Verbreitung
von Hörfunk auf digitaler Basis

eingereicht als

DIPLOMARBEIT

an der

HOCHSCHULE MITTWEIDA (FH)

UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Fachbereich Medien

Mittweida, 2008

Erstprüfer: Prof. Dr. Ing. Michael Hösel

Zweitprüfer: Dipl. Kaufmann Mike Lehmann

Bibliographische Beschreibung:

Prüfer Thomas:

Vergleichende Betrachtung von Technologien zur Verbreitung von Hörfunk auf digitaler Basis. – 2008 – 74 S. Ulm, Hochschule Mittweida (FH), Fachbereich Medien, Diplomarbeit, 2008

Abstract:

Ziel der Diplomarbeit ist es den Prozess der Digitalisierung des Rundfunks zu beschreiben, die dabei entstandenen Richtungen miteinander zu vergleichen und eine Bewertung bezüglich der Umsetzbarkeit für einen landesweiten Radiosender in Sachsen vorzunehmen.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	S.4
Einleitung	S.5
Kapitel 1 Bestandsaufnahme	S.6
1 UKW – die „abgeschlossene“ Technologie	S.6
2 Digitalisierung – Wie weit ist man?	S.8
Kapitel 2 Das analoge Hörfunksystem im UKW-Bereich	S.11
1 Zur Geschichte	S.12
2 Die zugrunde liegende Technologie	S.15
3 Das Pilottonverfahren	S.17
4 Das ARI-System	S.20
5 Das RDS-System	S.22
Kapitel 3 Digitalisierung und digitale Technologien	S.26
1 Weg vom analogen – hin zum digitalen	S.26
2 Digitalisierung	S.31
3 Datenreduktion	S.39
3.1 Das psychoakustische Modell	S.39
3.2 Der MPEG-Standard	S.41
4 Digital Audio Broadcast – DAB	S.45
4.1 Zur Geschichte	S.45
4.2 DAB-Technik	S.49
5 DAB+	S.54
6 Die digitale Mittel und Kurzwelle	S.55
7 DVB – Radio im digitalen Fernsehmultiplex	S.57
Kapitel 4 Die Vergleichsgrundlagen	S.58
1 Die sächsische Radiolandschaft	S.57
2 Radionutzung	S.60
3 Die Vergleichsparameter	S.64
3.1 Ausbau des Sendernetzes	S.63
3.2 Bandbreite	S.65
3.3 Reichweite	S.65
3.4 Empfangsqualität	S.66
3.5 Empfangsgeräte	S.66
3.6 Übertragbarkeit zusätzlicher Informationen	S.67

Kapitel 5 Der Vergleich der Technologien	S.68
1 Ausbau des Sendernetzes	S.68
2 Bandbreite	S.71
3 Reichweite	S.72
4 Empfangsqualität	S.73
5 Empfangsgeräte	S.74
6 Übertragbarkeit zusätzlicher Informationen	S.75
 Fazit	 S.78
Literaturverzeichnis	S.80

Abbildungsverzeichnis

Darstellung 1:	Vergleichende Darstellung AM und FM	S.15
Darstellung 2:	Das Stereo MPX Signal	S.19
Darstellung 3:	ARI Signal im MPX Signal	S.21
Darstellung 4:	Aufbau einer RDS Datengruppe	S.23
Darstellung 5:	Multiplex Signal mit RDS	S.24
Darstellung 6:	Mehrwegeausbreitung	S.28
Darstellung 7:	Abtastung	S.34
Darstellung 8:	A/D-Wandlung richtige Abtastrate	S.35
Darstellung 9:	A/D-Wandlung falsche Abtastrate	S.36
Darstellung 10:	Quantisierung	S.37
Darstellung 11:	Ruhehörschwelle	S.40
Darstellung 12:	Verdeckung	S.40
Darstellung 13:	Blockschaltbild MPEG Standard	S.43
Darstellung 14:	MPEG Audio LayerII Rahmen	S.44
Darstellung 15:	Frequenzbereiche DAB	S.47
Darstellung 16:	Versorgung Deutschland mit DAB	S.48
Darstellung 17:.	Orthogonalität	S.50
Darstellung 18:	Schutzintervall	S.51
Darstellung 19:	Übertragungsmodi	S.52
Darstellung 20:	Kanalraster DRM	S.55
Darstellung 21:	Frequenzbereiche der DVB Arten	S.57
Darstellung 22:	Marktanteile landesweite Radiosender Sachsen	S.59
Darstellung 23:	Radiohörer im Tagesverlauf	S.61
Darstellung 24:	Hörer im Auto und am Arbeitsplatz	S.62
Darstellung 25:	Radionutzung	S.62
Darstellung 26:	Radiointeresse in ausgewählten Alltagssituationen	S.63
Darstellung 27:	Prozentuale Abdeckung des Sendernetzes	S.69
Darstellung 28:	Versorgung Deutschland mit DAB	S.70
Darstellung 29:	Bandbreiten für ein Programm	S.71
Darstellung 30:	Reichweiten bei gleicher Sendeleistung	S.72
Darstellung 31:	Minimaler Signalausgabestand	S.74
Darstellung 32:	Bandbreite für zusätzliche Daten	S.76

Einleitung

Von der Entdeckung der elektromagnetischen Wellen durch Heinrich Hertz (1886/87) bis zum heutigen Zeitpunkt sind gut 120 Jahre verstrichen. Und aus dem Experimentiergebiet einiger Forscher, ist das Radio, ein weltweites Massenmedium, geworden, das sich in der Verweildauer der Nutzer nur knapp dem Fernsehen geschlagen geben muss¹. Ein Hin- und Nebenbeihörmedium, dass neben der inhaltlichen auch eine technische Entwicklung vollzogen hat. Neue Frequenzbereiche, ein verändertes Klangerlebnis und verschiedene Weiterentwicklungen brachten in den letzten Jahrzehnten für Radiomacher und -nutzer viel Neues. Aus dem monophonen Medium wurde der Zweikanalklang und im Autoradio zeigt uns das Display inzwischen Sendernamen, Titel und Interpret. Auf der Fahrt durch das Sendegebiet sucht das Gerät automatisch nach dem stärksten Sendesignal für das laufende Programm und beim Verkehrsfunk wird die Lautstärke ohne Zutun des Fahrers angehoben oder die CD-Wiedergabe unterbrochen.

In den letzten Jahren hat das Medium Radio eine weitere Sprosse auf dieser Entwicklungsleiter erklommen. War es bisher eine Weiterentwicklung und verbesserte Nutzung des Bestehenden, so geht es diesmal um einen Systemwechsel, bei dem die komplette Übertragungstechnologie verändert werden soll. Die Digitalisierung, die bisher vor allem die Speicherung und Verarbeitung von Tonmaterial betroffen hat, soll nun auf den kompletten Sendeweg angewandt werden.

Diese Arbeit soll klären, was anstelle des UKW-Standards stehen kann. Dazu werden verschiedenen Technologien vorgestellt und ihre Fähigkeiten und Einsatzmöglichkeiten geschildert. Es wird auf den Stand der Entwicklung und die technischen Grundlagen der einzelnen Technologien eingegangen. Zum anderen soll anhand bestimmter Vergleichspunkte herausgearbeitet werden, welche Technologie sich für einen landesweiten Programmanbieter eines AC-Formats in Sachsen eignet.

¹ Vgl. Internetpräsenz der ARD -
http://www.ard.de/intern/basisdaten/mediennutzung/zeitbudget_20f_26_23252_3Br_20audiovisuelle_20medien/-/id=54984/sfyd65/index.html, 13.06.2008

Kapitel 1 Bestandsaufnahme

Um zu klären wohin die technische Entwicklung gehen kann, muss zunächst die aktuelle Situation der Rundfunkübertragungstechnologie geschildert werden. Zum einen wird also in diesem Kapitel die gezeigt, an welchem Punkt in der Entwicklung das bestehende UKW-System ist. Zum anderen werden Forderungen an ein neues System aufgestellt. Abschließend soll geklärt werden, wie weit fortgeschritten die Digitalisierung bei der Rundfunkübertragung ist.

1. UKW – die „abgeschlossene“ Technologie

Ein Produkt wird nur so lange als gut und ausreichend akzeptiert, wie nicht ein leistungsfähigeres, billigeres oder anderweitig verbessertes vorhanden ist. Das gilt auch für die Übertragungstechnologien des Hörfunks. So wurde die ursprüngliche Mittel- und Kurzwellentechnik nach dem 2. Weltkrieg in Deutschland durch die qualitativ bessere Ultrakurzwelle ergänzt. Mit den Jahren wurde auch dieses System erweitert und verbessert. Neben der deutlich hörbaren Klangverbesserung aufgrund des größeren übertragenen Frequenzspektrums führte besonders die Stereophonie zu einer höheren Qualität des Radiosignals. Die letzte große Erweiterung des UKW-System lag Mitte der 80er Jahre des 20. Jahrhunderts in der Einführung des Radio Data Systems (RDS), mit dem Zusatzinformationen zusammen mit dem Hörfunksignal übertragen wurden. So kann man heute neben der Frequenz im Display des Empfangsgeräts auch den Namen des Senders, Titel und Interpret oder andere Informationen lesen. Oder man sucht gezielt nach einer bestimmten Programmsparte, deren Kennung ebenfalls im übertragenen Signal mitgesendet wird. Damit war die technische Weiterentwicklung von UKW an ihrem Ende angelangt.

Eine intensivere Beschreibung der UKW-Technologie erfolgt in einem späteren Kapitel.

Mit der Veränderung der Hörgewohnheiten und dem Entstehen neuer Technologien und Formate in der Unterhaltungselektronik, zum Beispiel der Compact Disc (CD), wurde das System „UKW“ vor Herausforderungen gestellt, die sich technisch nicht mehr, oder nur mit unverhältnismäßig großem Aufwand hätten meistern lassen. Die bestehende Technologie konnte so nicht mehr mithalten. Daher gelangte man zu der Überzeugung, eine verbesserte Übertragungsweise für den Hörfunk zu entwickeln.

Anfangs war UKW auf den stationären Empfang mittels einer Richtantenne ausgelegt. Die Verbreitung von Autoradios und kleinen mobilen Empfängern („Kofferradios“) führte diese Annahme aber ad absurdum. Inzwischen liegen gut 85 Prozent der Nutzung im mobilen Bereich. So kam es unter anderem im Auto zum Problem der unterschiedlichen Signalstärke (Fading), aufgrund des sich ändernden Umfeldes des Empfängers. Und auch die Klangqualität des Radios genügte nicht immer den gestiegenen Ansprüchen der Hörer, die inzwischen die rauschfreie und detailgetreue CD-Wiedergabe gewohnt waren. Und die begrenzten Möglichkeiten der Zusatzdatenübertragung mittels RDS reichten nicht immer aus, um alle gewünschten Informationen zu erhalten.

Darüber hinaus haben auch die Hörfunkveranstalter ihre Wünsche und Vorstellungen. Immer mehr Programmanbieter drängen auf den Markt. Die begrenzten Frequenzen reichen schon lange nicht mehr aus, um allen Ansprüchen gerecht zu werden und das gewünschte Sendegebiet bestmöglich mit dem Programm zu versorgen; zumal jeder neue Sendemast auch mit immensen Kosten verbunden ist. Zudem besteht der Wunsch, das Sendegebiet anzupassen bzw. innerhalb des bestehenden Gebietes verschiedene Inhalte zu übertragen (z.B. zur Regionalisierung von Werbung oder Nachrichten). Und auch die Programmanbieter wollen dem Hörer gern mehr als nur ihr Tonsignal übermitteln, um ihn an sich zu binden.

Ein neues System müsste also folgende Anforderungen erfüllen:

- Ein sicherer Empfang im Auto und mit mobilen Empfängern
- Eine Klangqualität, die der CD-Wiedergabe vergleichbar wäre
- Eine bessere Ausnutzung des bestehenden Frequenzraums, bzw. dessen Erweiterung
- Mehr Reichweite bzw. verbesserte Signalauswertung auf Empfängerseite
- Eine Eignung sowohl für den lokalen, regionalen als auch den nationalen Hörfunk
- Die Möglichkeit, viele zusätzliche Informationen zu übermitteln

Diese Punkte waren ein entscheidender Grund für die Entwicklung neuer Technologien zur verbesserten Übertragung von Hörfunk.

2. Digitalisierung – Wie weit ist man?

Auf Seiten der Programmanbieter stehen im Rahmen der kompletten Digitalisierung des Sendeweges vom Studiopult bis zur Sendeanlage umfangreiche Investitionen an, da neue Technologien mit neuen Geräten einhergehen. Viele scheuen sich davor, dieses Geld auszugeben. Sie argumentieren, dass es ein bestehendes System gibt, an das sich sowohl Anbieter als auch Nutzer des Radios gewöhnt haben. Sie argumentieren, dass der Wunsch des Hörers nach einer Veränderung in der Technik gering bis nicht vorhanden ist und sie sich daher nicht in Zugzwang sehen. Ihrem wirtschaftlichen Verständnis widerspricht es, ein funktionierendes System zu verändern, wenn sich daraus zunächst in erster Linie Kosten ergeben und ein möglicher Mehrwert schwer vorzusagen ist.

Auf der anderen Seite stehen die Hörer. Die Mehrzahl von ihnen hat sich über die Jahre an das gewöhnt, was sie tagtäglich empfangen, sodass ihnen die Unterschiede und Verbesserungen nicht zwangsläufig auffallen würden.

Zudem bestünde für sie ebenfalls die Notwendigkeit, sich neue Empfangsgeräte zu zulegen, um eben jenes digitale Radio überhaupt nutzen zu können. Zurzeit gibt es in den 38 Millionen deutschen Haushalten etwa 200 Millionen Radiogeräte². Sie alle sind nicht für den Empfang des digitalen Radios ausgelegt, egal welche Technologie dafür zum Einsatz kommt. Die Preise für die neuen Geräte liegen teilweise deutlich über denen konventioneller UKW-Empfänger. Und noch ist das Programmangebot recht mäßig. Das Interesse am neuen digitalen Radio hält sich daher noch in Grenzen, weil ein gut ausgebautes und abwechslungsreiches Angebot im UKW-Bereich besteht, für den schließlich auch die nötigen Empfangsgeräte massenhaft zur Verfügung stehen.

Als dritte Partei tritt neben den Programmanbietern und den Hörern tritt im Rahmen der Digitalisierung auch die Politik auf. Schon vor Jahren beschlossen die Vertreter der verschiedenen Parteien, dass es an der Zeit sei, das in die Jahre gekommene System des analogen UKW abzuschalten und die Weichen für eine neue digitale Technologien zu stellen. Leider erwiesen sich diese Beschlüsse, die ihren Niederschlag in den Landesmediengesetzen der einzelnen Bundesländer fanden häufig als zu optimistisch in ihrer zeitlichen Ausrichtung. So strebt etwa Sachsen eine „...Übertragung von Rundfunkprogrammen und Mediendiensten in Sachsen ausschließlich in digitaler Technik...“ spätestens ab dem 1. Januar 2010 an.³ Ähnlich verhält es sich in Sachsen-Anhalt, wo ebenfalls im Mediengesetz des Landes festgeschrieben ist, dass eine Übertragung ab dem 1. Januar 2010 nur noch digital geschehen soll.⁴

Im weiteren Verlauf des Gesetzestextes wird das Bestreben nach rascher Umstellung aber eingeschränkt. So wird in Sachsen-Anhalt eine endgültige Abschaltung erst dann anvisiert, wenn „...analog-terrestrische öffentlich-

² Vgl. BAUER, GERD: Leitlinien für eine zukünftige Gestaltung des terrestrischen Hörfunks in Deutschland, einsehbar unter: <http://www.alm.de/fileadmin/Dateien/Leitlinien-Hoerfunk-end.pdf>, S.12, 20.04.08

³ Vgl. Sächsische Landesanstalt für privaten Rundfunk und neue Medien (Hrsg.): Gesetz über den privaten Rundfunk und neue Medien in Sachsen, § 4, Absatz 6, einsehbar unter: http://www.slm-online.de/psk/slmo/dokukategorien/dokumanagement/psfile/file/91/S_chsPRG_2404c33f78422e.pdf, 22.04.08

⁴ ebd. §34, Absatz 1

rechtliche Rundfunkprogramme für mindestens 90 v. H. der Rundfunkhaushalte ohne erheblichen wirtschaftlichen und technischen Aufwand digital-terrestrisch empfangbar sind.“ Im Weiteren heißt es, dass die „...Fortführung der analog-terrestrischen Verbreitung von Rundfunk und Telemedien vorübergehend in Teilgebieten aufrecht erhalten werden“ kann. Ebenso räumen die Gesetzgeber in beiden Ländern ein, dass eine gleichzeitige Verbreitung der Programminhalte mithilfe der analogen als auch der digitalen Technik, das so genannte Simulcast, geschehen kann.

Die politischen Richtlinien sind also vorhanden. Es stellt sich allerdings die Frage, wer denn nun den ersten Schritt machen soll um eben jene Voraussetzungen für den Empfang, wie im Gesetz gefordert, in 90 Prozent der Haushalte zu ermöglichen. Noch immer scheuen sich die Haushalte, in neue Geräte zu investieren und die Programmveranstalter, den Schritt in Richtung digitale Verbreitung zu gehen. So jedenfalls wird der ehrgeizige Zeitplan der Landesregierungen nicht umgesetzt werden können. Der Versuch, durch eine Förderung auf Landesebene, die Programmveranstalter zu unterstützen ist dabei genauso fehl geschlagen, wie der Versuch der Radiosender selbst, bei den Hörern das digitale Radio als Gerät zu etablieren.

Was folgte war der Ausstieg aus Testprojekten, wie etwa bei Radio Top 40 in Thüringen. Eine klare Linie mit realistischem Zeithorizont auf politischer Ebene fehlt also ebenso wie der wirkliche Wille der Programmveranstalter und der Gerätehersteller die Einführung zügig und effektiv voranzubringen. Hinzu kommt der fehlende Anreiz für die Masse der Hörer, der es der Digitalisierung nicht einfacher macht.

Kapitel 2 Das analoge Hörfunksystem im UKW-Bereich

In deutschen Haushalten gibt es mehr als 216 Millionen Radios.⁵ Eine Zahl die verwundert, wenn man bedenkt, dass dem nur etwa 80 Millionen Menschen gegenüberstehen. Es zeigt sich also, in den etwa 100 Jahren Rundfunkgeschichte hat sich einiges an Empfangsgeräten angesammelt. Und aus den anfänglichen Riesenkästen vor dem die Menschen staunend lauschten ist inzwischen ein Nebenbei-Medium geworden, das dennoch mehr als 180 Minuten täglich unsere mehr oder minder große Aufmerksamkeit hat (Stand 2007).⁶ Die zugrunde liegende Technologie zu Verbreitung und Empfang ist dabei die Frequenzmodulation im UKW-Bereich. Zunächst soll aber noch einmal der Weg von der UKW-Einführung bis heute nachgezeichnet werden.

⁵ Vgl. RENNER, TIM: Die Zukunft des Radios bei:
<http://www.spiegel.de/netzwelt/tech/0,1518,444685,00.html>, 14.03.2008

⁶ Vgl. Internetpräsenz der ARD,
http://www.ard.de/intern/basisdaten/mediennutzung/zeitbudget_20f_26_23252_3Br_20audiovisuelle_20medien/-/id=54984/sfyd65/index.html, 01.04.2008

1. Zur Geschichte

Das Radio wie man es heute kennt hat seinen Ursprung im Nachweis der elektromagnetischen Wellen durch den Physiker Heinrich Hertz im Jahr 1886/87. Er bestätigt die Annahmen James Clerk Maxwells, der Wellen von elektrischen und magnetischen Feldern vorhersagte. Dazu nutzt Hertz eine Dipolanordnung, an der er eine Funkenstrecke erzeugte. Beim Zusammenbruch der Spannung (Funken) löst sich das die Anordnung umgebende elektromagnetische Feld. In den Folgejahren wird die Entwicklung der Funktechnik mit großem Erfolg vorangetrieben. Dabei werden auch Erkenntnisse aus der Entwicklung des Telefons (Alexander Graham Bell, 1876⁷) genutzt, um Tonsignale kabellos zu übermitteln.

Bis in die 20er Jahre hinein ist Rundfunk in erster Linie ein Experimentierfeld für Forscher, Post und Militär. 1922 führt England aber dann als erstes europäisches Land offiziell den Rundfunk ein, und geht mit der British Broadcasting Corporation (BBC) und einem täglichen Programm auf Sendung⁸. Ein Jahr später erlässt der damalige Reichspostminister Anton Höfle eine Verfügung zur „Einführung eines Unterhaltungs-Rundfunks in Deutschland“⁹. Darin sieht der Staat eine Einnahmequelle durch Rundfunkgebühren. Im Gründungsjahr des Rundfunks in Deutschland gibt es immerhin schon 467 registrierte Hörer. Die neue Technik findet rasenden Absatz und Ende 1925 ist die Zahl der offiziellen Hörer schon auf eine Million angestiegen. Um Frequenzprobleme zu minimieren werden 1927 auf der Weltrundfunkkonferenz Frequenzbereiche festgelegt, und die Kurzwelle für den Rundfunk freigegeben¹⁰. In die 30er Jahre fallen die Entwicklung erster Autoradios (1932), die Machtübernahme der Nationalsozialisten (1933) und der massenhafte Bau von Radios (Volksempfänger VE 301).

⁷ Vgl. KLOSS, ALBERT: Geschichte des Magnetismus, vde-verlag, 1994, S. 232

⁸ Vgl. HEINRICH, JENS: Eine kurze Chronik der Funkgeschichte, Funkverlag Bernhard Hein e.K., Dessau-Rosslau, 2002, S. 32

⁹ ebd. S. 33

¹⁰ ebd. 2002, S. 40ff

Mit Ende des zweiten Weltkriegs (1945) wird Deutschland in vier Besatzungszonen geteilt und auch der Rundfunk wird je nach Besatzungsmacht wieder aufgenommen. Noch im Jahr 1945 geht im französisch besetzten Baden-Baden der Südwestfunk (SWF) auf Sendung, in Berlin wird im ehemaligen Haus des Rundfunks durch die Sowjets der Rundfunk in der sowjetisch besetzten Zone (SBZ) wieder aufgenommen. Es folgen in Hamburg, Köln und Berlin der NWDR und RIAS im Jahr 1946.

1948 wird der Status der öffentlich-rechtlichen Rundfunkanstalt geschaffen. Als erster deutscher Sender geht der Bayerische Rundfunk (BR) am 28. März 1949 im Frequenzbereich der Ultrakurzwelle (UKW) auf Sendung. Kurz darauf folgt auch der NWDR. Damit ist ein weiterer großer technischer Schritt in der Entwicklung des Hörfunks bewältigt. 1950 gründen die Sendeanstalten in der BRD die Arbeitsgemeinschaft der öffentlich-rechtlichen Rundfunkanstalten in Deutschland (ARD). 1956 ist die technische Entwicklung so weit fortgeschritten, dass im UKW-Bereich ein übertragener Frequenzumfang von 15kHz erreicht wird¹¹.

1961 wird in den USA das Pilotonverfahren entwickelt und setzt sich in den Folgejahren als internationalen Standard durch. Damit kann 1967 in der BRD die Stereophonie Einzug halten. 1982 wird der UKW-Bereich auf die noch heute geltenden Grenzen von 87,5 bis 108 MHz festgelegt. In der DDR bleibt die Obergrenze allerdings bei 104MHz. Im Zuge der Weiterentwicklung des UKW-Signals werden 1974 erstmals kodierte Sendesignale für den Verkehrsfunk übertragen. 1984 wird in der BRD das Radio Data System (RDS) für Autoradios eingeführt. Damit können zusätzliche Textinformationen übertragen werden. Im gleichen Jahr wird ein Landesrundfunkgesetz zur Zulassung privatwirtschaftlichen Rundfunks erlassen¹². 1987 einigen sich die Bundesländer in einem Staatsvertrag über die Rechtssprechung. Die Vergabe von Lizenzen für privaten Rundfunk sollen die Landesmedienanstalten regeln.

Im Zuge der Wende in der DDR und der Wiedervereinigung der beiden deutschen Staaten werden Hörfunk und Fernsehen auch im Osten

¹¹ ebd. S. 71ff

¹² ebd., S. 83ff

Deutschlands unabhängige öffentliche Einrichtungen. Der UKW-Bereich wird bis auf 108 MHz ausgedehnt. In den darauf folgenden Jahren werden in den neuen Bundesländern Rundfunkanstalten gegründet und diese treten der ARD bei. Es entsteht ein gleiches System von öffentlich-rechtlichen und privaten Rundfunkanstalten wie in den alten Bundesländern.

2. Die zugrunde liegende Technologie

Zur Übertragung des Audio-Nutzsignals dient dem im Bereich der Ultrakurzwelle (30 MHz – 300 MHz) liegenden Hörfunk (87,5 – 108 MHz) die Frequenzmodulation. Im Gegensatz zum ebenfalls analogen Verfahren der Amplitudenmodulation, wie sie bei Lang-, Mittel- oder Kurzwelle verwendet wurde, wirkt (moduliert) hier das Nutzsignal (30 Hz – 15 kHz) auf die Frequenz des Trägersignals ein.

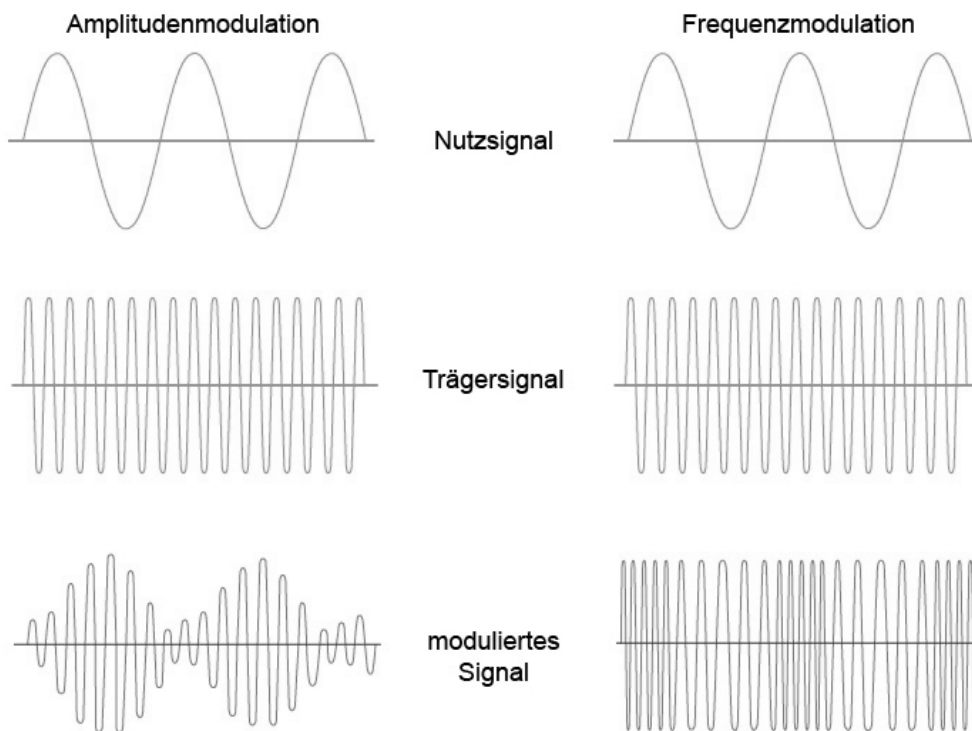


Abbildung 1: Vergleichende Darstellung von Amplitudenmodulation und Frequenzmodulation.

Quelle: eigene Darstellung

Dies bringt neben der höheren Störsicherheit auch einen größeren Dynamikumfang des Nutzsignals mit sich. Die Realisierung erfolgt beispielsweise über einen regelbaren Schwingkreis, der zum Beispiel anstelle eines Kondensators eine Kapazitätsdiode enthält. Die dort anliegende Signalspannung verändert die Kapazität und dadurch wird auch die Resonanzfrequenz des Schwingkreises beeinflusst. Die Frequenz des

Trägersignals verändert sich also mit der Frequenz des Nutzsignals. Je höher die Frequenz des Nutzsignals ist, um so schneller findet der Frequenzwechsel beim Träger statt. Zudem ändert sich die Frequenz des Trägers auch je nach Lautstärke des Nutzsignals. Ein lautes Nutzsignal führt zu einer starken Veränderung, ein leises zu einer schwachen. Diese Veränderung wird Frequenzhub genannt und ist auf maximal 75 kHz festgelegt. Dadurch soll eine gewisse Frequenzökonomie eingehalten werden.

Um eine gegenseitige Beeinflussung der einzelnen Programme zu unterbinden wurde ein so genanntes Kanalraster mit einem Abstand von 300 kHz zwischen zwei benachbarten Programmen eingeführt. Dies entspräche bei Vollbelegung des gesamten UKW-Bereichs 68 Programmen. Inzwischen wurde dieser Abstand jedoch auf etwa 100 kHz abgesenkt. Damit ist der Abstand aber immer noch so groß, dass es nicht zu einer Überlappung kommt, da der Frequenzhub geringer ist. Das so modulierte Signal wird nun verstärkt, und anschließend über spezielle Sendeantennen ausgestrahlt. Dazukommen meist horizontal polarisierte Antennen zum Einsatz. Diese können als Dipol, Kreuzdipol, Schlitzstrahler, Schmetterlingsantenne oder Dipolfeld ausgeführt sein. Die Reichweite beträgt bei einem 100 kW Sender etwa 100 Kilometer und ist an die topographischen Besonderheiten gebunden. Daher werden für Sendeanlagen meist hohe Punkte (Bergrücken o. ä.) gewählt.

Auf Empfängerseite wird das Nutzsignal aus dem modulierten Träger herausgefiltert und anschließend wieder hörbar gemacht.

3. Das Pilottonverfahren

In den Anfangsjahren der UKW waren sowohl Übertragungs- und Empfangstechnik als auch die Ansprüche an Klangqualität noch nicht sehr weit entwickelt. Man hatte sich an den Klang des Mittel- und Kurzwellenradio gewöhnt, der bedingt durch die Systemparameter nur Frequenzen bis 4.500 Hz übertragen kann. Mit der Ausdehnung der übertragenen Frequenzen bis auf 15 kHz keimte jedoch der Wunsch auf, nicht nur monophon, also einkanalig zu senden und zu empfangen. Entwickler wollten auch einen räumlichen Höreindruck. Eine naturgetreue, zweikanalige Abbildung des Klangs wurde angestrebt. Dazu wurde 1961 das Pilottonverfahren von der US-amerikanischen Bundesbehörde für Kommunikation FCC (Federal Communications Commission) zugelassen. Sechs Jahre später wurde das Verfahren auch in der BRD eingeführt und setzte sich nach und nach durch. Es ermöglichte, jene Informationen zu übertragen, die einen räumlichen Höreindruck vermitteln konnten.

Das neue Verfahren musste jedoch einige Prämissen erfüllen. Wichtig war, dass stets die Kompatibilität zur Monophonie gegeben sein musste. Das heißt, dass Mono-Empfänger das Stereosignal auswerten und ohne Qualitätseinbuße umsetzen konnten.

Im Gegenzug mussten auch Stereo-Empfänger das Monosignal problemlos verwerten können. Zudem sollte das neue Verfahren ebenso durch Frequenzmodulation umgesetzt werden. Eine weitere Forderung war, dass die Decodierung im Empfänger ohne große Kosten und einfach erfolgte. Außerdem sollte die Kanaltrennung und eindeutige Zuordnung zum linken oder rechten Kanal gegeben sein.

Dem linken Kanal (L) wird dabei die Klanginformation gleichgesetzt, die ein Mensch bei direktem Hören mit dem linken Ohr wahrnehmen würde. Dem rechten (R) das, was er mit dem rechten Ohr wahr nähme. Statt der Ohren wird der Klang dabei von zwei Mikrofonen aufgenommen. Anders als beim Menschen, der den räumlichen Höreindruck aus den Informationen

Laufzeitunterschied, Lautstärkeunterschied und Abschattung gewinnt, nutzt man für das Pilottonverfahren nur die Lautstärkeunterschiede.

Es wird aus den beiden gewonnenen Kanälen ein so genanntes Stereo-Multiplexsignal gewonnen, das aus einem Summensignal (M) und einem Differenzsignal (S) besteht. Jeder Kanal hat dabei einen Frequenzumfang von 40 Hz bis 15 kHz und moduliert die Trägerfrequenz bis maximal 90%. Das Summensignal kann von einem Monoempfänger problemlos empfangen werden.

Die Stereoinformation wird durch ein Differenzsignal (S) gebildet. Dieses Differenzsignal wird auf einer Hilfsträgerfrequenz von 38 kHz amplitudenmoduliert, wobei der Träger anschließend unterdrückt wird. Es entstehen zwei Seitenbänder im Frequenzbereich von 23 bis 53 kHz. Durch das Unterdrücken wird unnötiger Frequenzhub eingespart. Auch dieses Signal moduliert die Trägerfrequenz zu maximal 90%.

Um im Empfänger den Hilfsträger wieder zu gewinnen wird ein Pilotton mit der Frequenz 19 kHz in das Multiplexsignal eingefügt. Seine Aussteuerung beträgt 8 bis 10%. Der Pilotton hat im Frequenzspektrum einen genügend großen Abstand zum Summen- und zum Differenzsignal, daher lässt er sich gut aus dem Gesamtsignal herausfiltern. Die Decodierung des Differenzsignals erfolgt durch eine Frequenzverdoppelung des Pilottons auf 38 kHz und ersetzt damit den unterdrückten Hilfsträger. Dadurch wird ein besseres Ergebnis erzielt, als bei der Übertragung eines Restträgers mit dieser Frequenz.

Um eine genaue Kanalzuordnung zu garantieren, müssen im Sender und im Empfänger das 19 und das 38 kHz-Signal genau in Phase liegen. Dazu wird eine so genannte PLL-Schaltung (Phasenregelschleife bzw. phase locked loop) verwendet. Dabei wird die Phase eines Signals ständig mit einem Referenzsignal abgeglichen und wenn nötig nachgeregelt. Aus diesen Einzelteilen entsteht ein Multiplexsignal, das sowohl von einem Stereo- wie auch einem Mono-Empfänger verarbeitet werden kann.

Das FM-Multiplexsignal hat also folgende Bestandteile:

- Summensignal (Mono): 40Hz-15 kHz
- Pilotton: 19 kHz
- Linkes Seitenband: 23-37,984 kHz
- unterdrückter Hilfsträger: 38 kHz
- Rechtes Seitenband: 38,016-53 kHz

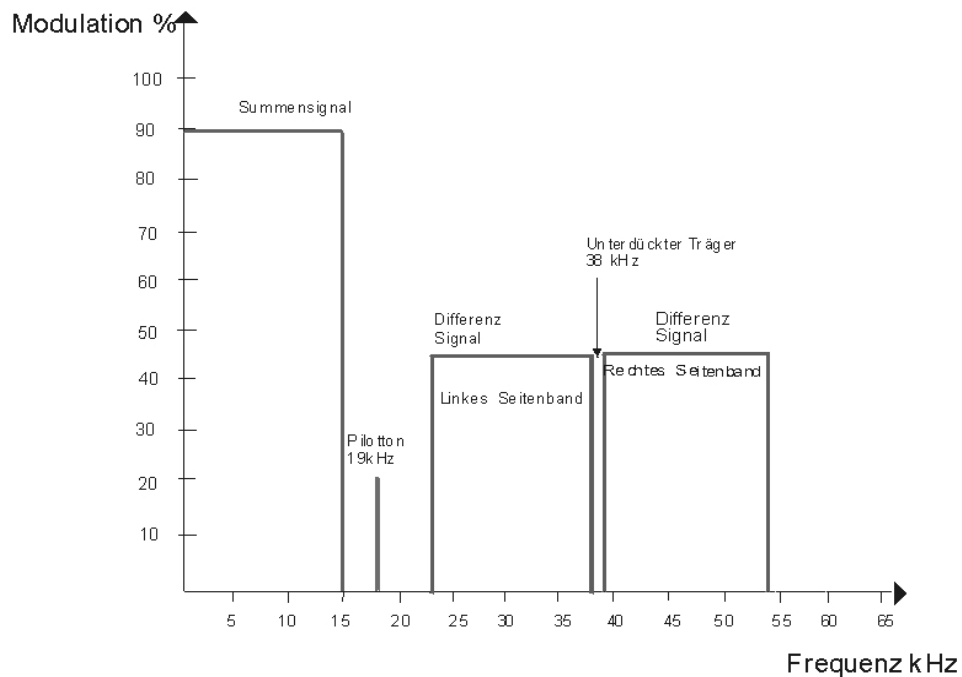


Abbildung 2: Das Stereo-Multiplex-Signal für UKW-Hörfunk

Quelle: eigene Darstellung

4. Das ARI-System

Um der zunehmenden Mobilität Rechnung zu tragen und die Autofahrer mit Verkehrsinformationen zu versorgen wurde Anfang der 70er Jahre ein so genannter Autofahrer-Rundfunk-Informationsdienstes (ARI) eingeführt. Ziel war es, dem Autofahrer erkenntlich zu machen, welches der 3-5 Programme der jeweiligen Landesrundfunkanstalt über Verkehrsinformationen verfügt. Das war damals nicht bei allen Programmen der Fall. Durch ein einfaches Zusatzsignal, das im unhörbaren Bereich liegt und die Übertragung nicht stört, konnte dies erreicht werden. Durch die Verdreifachung der Pilottonfrequenz auf 57 kHz konnte diese Signalisierung stattfinden. Am Empfänger im Auto leuchtete beim Suchen eines Programms zum Beispiel eine kleine LED auf, wenn das ARI-Signal empfangen wurde.¹³

Durch Amplitudenmodulation des ARI-Signals konnte zudem eine Bereichskennung und eine Durchsagenkennung übermittelt werden. Über die Bereichskennung war eine räumliche Zuordnung bestimmter Verkehrsmeldung für ein Gebiet möglich. Die Durchsagenkennung wurde genutzt, um die Lautstärke bei Verkehrsmeldung anzuheben oder die Wiedergabe von Kassetten für die Dauer der Verkehrsdurchsagen zu unterbrechen.

¹³ Vgl. WERLE, HORST (Hrsg.) in: Technik der Telekommunikation; Bd. 15: Technik des Rundfunks, Technik der Systeme, Rundfunkversorgung,, R. v. Deckers Verlag, Heidelberg, 1989, S.48ff

Im Multiplexsignal wird das ARI-Signal wie folgt dargestellt:

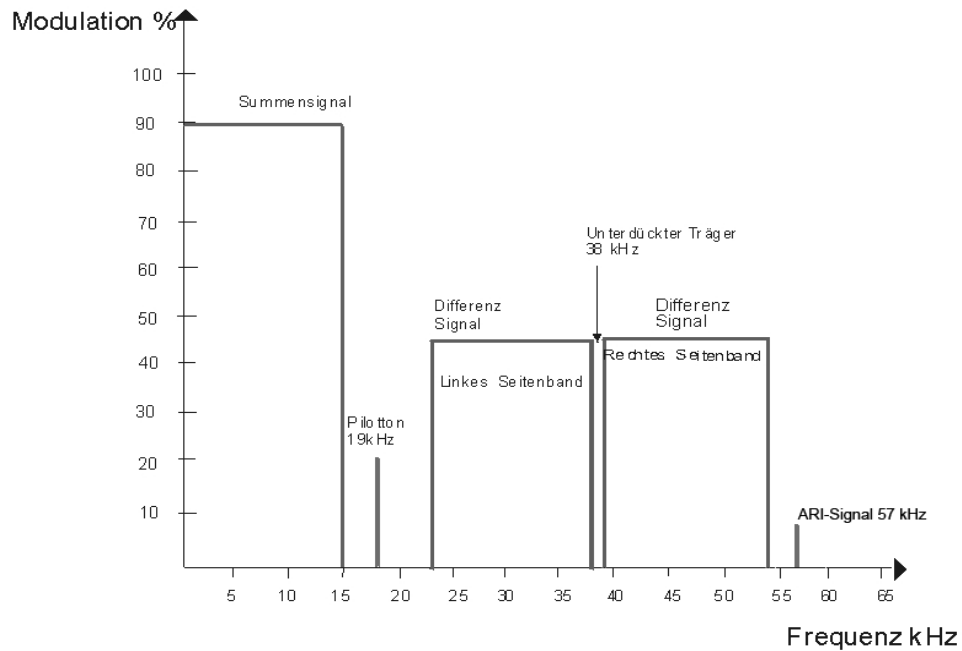


Abbildung 3: ARI-Signal im Multiplex-Signal.

Quelle: eigene Darstellung

Das ARI-System konnte somit drei Informationen übermitteln. Es wurde in Deutschland 2005 abgeschaltet und durch das modernere RDS-System ersetzt, das alle drei Informationsarten ebenfalls übermitteln kann.

5. Das RDS-System

Quasi parallel zum ARI-System wurde im Rahmen der Europäischen Rundfunkorganisation (UER) ab Mitte der 70er Jahre an der Entwicklung eines weiteren Datenübertragungssystems innerhalb des UKW-Standards gearbeitet. Das Radio Data System (RDS) sollte europaweit einheitlich einsatzfähig sein und mehr Daten übertragen als das ARI-System.

Und noch weitere Anforderungen wurden an das System gestellt:

- Die Datenübertragung durfte die Empfangsqualität des Rundfunkprogramms nicht beeinflussen und auch keine Störung benachbarter Programme hervorrufen.
- Eine parallele Nutzung des ARI-Systems musste garantiert sein.¹⁴

Anders als beim ARI-System erfolgt vor dem Versenden der Daten eine Digitalisierung. Dadurch lässt sich die Datendichte erheblich steigern.

Die Daten werden in kontinuierlichen Gruppen mit vier Blöcken à 26 bit übertragen. Dabei können pro Block 16 Bit Information übertragen werden. Der Rest sind Schutz- und Prüfbits zur Fehlerkorrektur und -erkennung. Diese zehn bit dienen zudem der Strukturierung des Datenstroms in Blöcke und Gruppen.

¹⁴ ebd. S.50ff

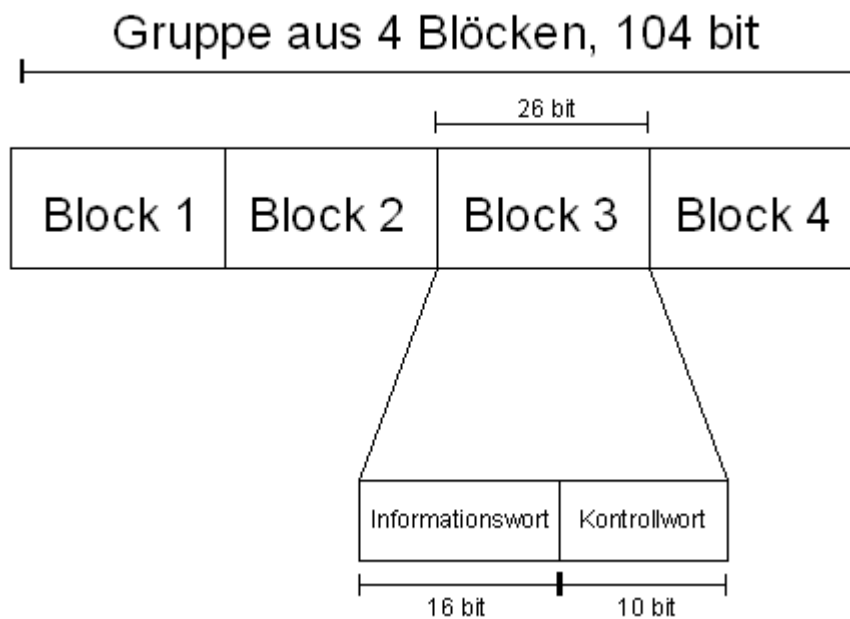


Abbildung 4: Aufbau einer RDS-Datengruppe

Quelle: eigene Darstellung

In den vier Blöcken können nun die folgende Informationen untergebracht werden (es wird nur eine Auswahl der wichtigsten verwendeten Informationen angegeben):

- Programmname (Programme Service Name, PS): 56 bit stehen zur Verfügung, um den Namen des Senders zu übermitteln.
- Programmart (Programme Type, PTY): Hier kann mit vier bit ein Programmtypus (Nachrichten, Popmusik, Klassik usw.) übermittelt werden. Dadurch lässt sich beispielsweise beim Sendersuchlauf gezielt nach einem bestimmten Typus suchen.
- Verkehrsfunkkennung (Traffic Programm, TP): ein bit reicht aus, um zu übermitteln, ob das Programm Verkehrsinformationen ausstrahlt. Vor Einführung des RDS musste dafür dauerhaft das ARI-Signal laufen.

- Alternative Frequenzen (Alternative Frequency, AF): Mithilfe von acht Bit wird auf alternative Frequenzen des Programms im Sendegebiet hingewiesen. So kann ein größeres Gebiet durchfahren werden, ohne dass aufwändig nach dem gleichen Programm gesucht werden muss, wenn der Empfang zu schlecht wird. Eine Umschaltung auf die alternative Frequenz erfolgt dabei automatisch.
- Verkehrsdurchsagenkennung (Traffic Announcement, TA): Auch hier reicht ein Bit aus, um den Beginn und/oder das Ende einer Verkehrsdurchsage zu übermitteln.

Die Datenrate beträgt bei der Übertragung 1187,5 bit/s. Zur Übertragung werden die Daten auf die alte ARI-Frequenz aufmoduliert. Weil dabei Amplitudenmodulation zum Einsatz kommt entstehen zwei Seitenbänder im Bereich von $57 \text{ kHz} \pm 125 \text{ Hz}$ entstehen. Der Träger selbst wird zudem unterdrückt. Nachstehend das Multiplex-Signal mit RDS.

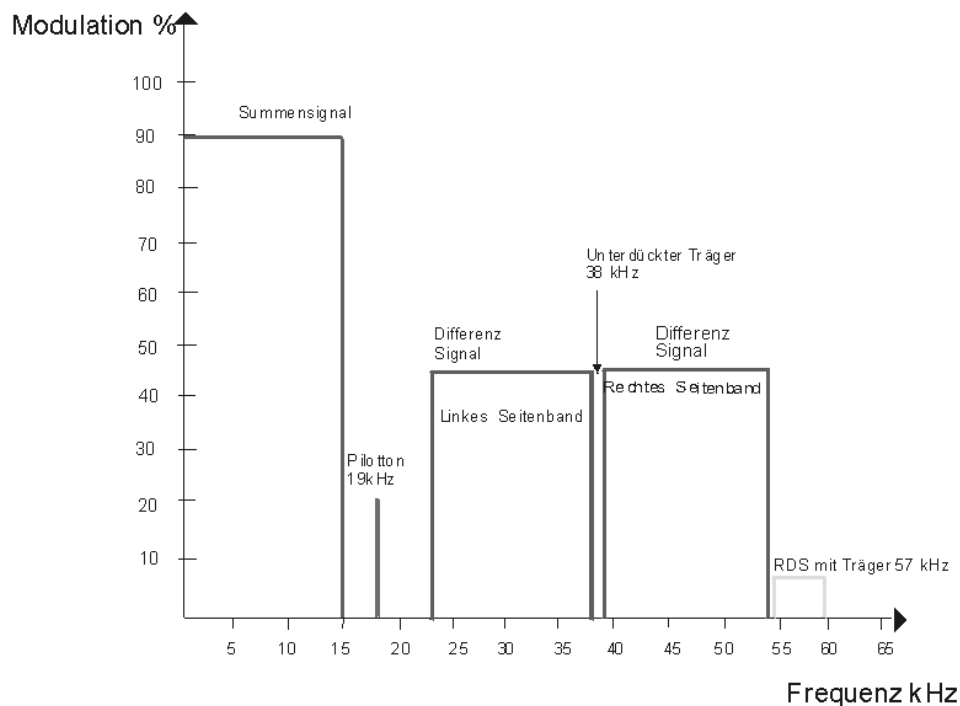


Abbildung 5: Multiplexsignal mit RDS.

Quelle: eigene Darstellung

Auf Empfängerseite lassen sich die Informationen durch entsprechendes Ausfiltern des Datenstroms aus dem Multiplex-Signal und anschließende Decodierung wiedergewinnen. Angeschlossen ist dabei eine Steuerung für bestimmte Funktionen des Radios, damit beispielsweise die CD- oder Kassettenwiedergabe unterbrochen oder die Lautstärke angehoben werden kann.

Kapitel 3 Digitalisierung und digitale Technologien

Die parallele Entwicklung einer digitalen Technik zur bestehenden analogen begann im Bereich der Unterhaltungselektronik spätestens 1985 mit der Einführung der Compact Disc (CD). Sony und Phillips schufen damit nicht nur einen neuen Tonträger, sondern auch einen neuen Klangqualitätsstandard. Nun forderten die Konsumenten dieses hohe Niveau auch für den Hörfunk ein. Dadurch sahen sich die Anbieter von Hörfunkbetriebstechnik und die Hersteller von Unterhaltungselektronik gleichermaßen gefordert. Das bestehende Hörfunkverbreitungssystem musste also zwangsläufig weiterentwickelt oder durch ein neues System ersetzt werden.¹⁵

1. Weg vom analogen – hin zum digitalen

Nach der Einführung der Stereophonie, dem ARI-Verfahren und der Entwicklung des RDS-Systems war das UKW-FM-System aber an einem Punkt angelangt, an dem, bedingt durch die technischen Rahmenbedingungen, eine Weiterentwicklung nicht mehr möglich war. Sowohl im Bereich der Bandbreite, als auch bei der übermittelten Datenmenge war eine Verbesserung nicht mehr möglich. Hinzu kam eine veränderte Form der Hörfunknutzung.

Das System war bei seiner Einführung für den stationären Empfang mit Hilfe einer Richtantenne in zehn Metern Höhe ausgelegt. Bedingt durch die zunehmende Mobilität der Nutzer, die Einführung von tragbaren Radios und Autoradios, rückte die ursprüngliche Nutzungsform immer mehr in den Hintergrund.¹⁶ Daraus resultierte das Problem des Mehrwegeempfangs

¹⁵ Vgl. DAMBACHER, PAUL: Digitale Technik für Hörfunk und Fernsehen, R. v. Decker's Verlag, Heidelberg, 1994, S. 43.

¹⁶ Vgl. LAUTERBACH, THOMAS: Digital Audio Broadcasting: Grundlagen, Anwendungen und Einführung von DAB, Franzis-Verlag, Feldkirchen, 1996, S. 19.

beziehungsweise der Mehrwegeausbreitung, das zur Zeit der Einführung des Systems nicht mit in die Planung einbezogen worden war.

Bedingt durch die relative Bewegung des Empfängers zum Sender bei mobilem Empfang, zum Beispiel im fahrenden Auto, kommt es zum Problem der Mehrwegeausbreitung (multipath propagation) beziehungsweise des Mehrwegeempfangs. Dabei gelangt das gesendete Signal durch Beugung und Reflexion an Hindernissen wie Häuserwänden, Bergen oder Bäumen auf unterschiedlich langen Übertragungsstrecken zum Empfänger (Abb. 6).

Die daraus resultierenden Laufzeitunterschiede lassen das Signal beim Empfänger in unterschiedlichen Phasenlagen eintreffen. Originalsignal und Signalechos bilden am Empfänger eine Interferenz, die zu starken Schwankungen in der Empfangsfeldstärke führen kann. Signalkomponenten überlagern sich dabei und subtrahieren oder addieren sich. Abhängig von der Frequenz führt das zu Einbrüchen und Überhöhungen der Signalamplitude. Das Empfangsteil des Radios kann aber nur einen geringen Pegel der Signalechos ausgleichen. Besonders in Gebieten mit vielen Hindernissen wie Innenstädten oder bei hohen Geschwindigkeiten im Auto gelingt es kaum, einen störungsfreien Empfang zu gewährleisten. Ein verrauschtes Signal, teilweise mit Aussetzern ist die Folge. Dieses Problem der Mehrwegeausbreitung bezeichnet man als Frequenzfading oder Tiefenschwund.¹⁷

¹⁷ ebd. S. 29.

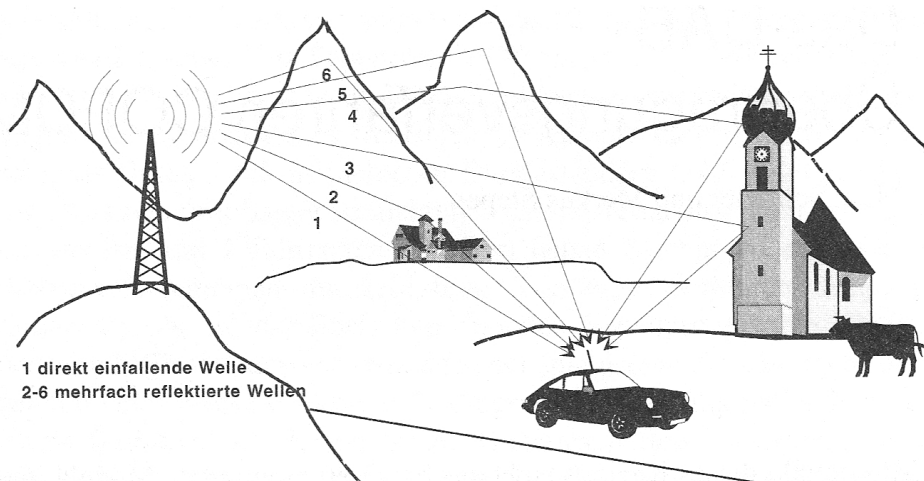


Abbildung 6: Mehrwegeausbreitung: Das Signal des Funkmasten erreicht den Empfänger im Auto auf unterschiedlichen Wegen zeitlich versetzt und in unterschiedlicher Phasenlage.

Quelle: LAUTERBACH, THOMAS, *Digital Audio Broadcasting: Grundlagen, Anwendungen und Einführung von DAB*, Dranzis-Verlag GmbH, Feldkirchen, 1996, S.30

Adaptive Antennen, die als Zusammenschaltung mehrerer Antennen verschiedene Signale auswerten, bewirken dabei nur bedingt eine Verbesserung der Empfangsqualität. Dabei werden die Phasenverschiebungen der einzelnen Signalkomponenten getrennt ausgewertet und daraus dann das Originalsignal bestmöglich herausgefiltert.¹⁸

Als zusätzliches Problem gilt ein Beschluss der Funkverwaltungskonferenz 1982 und 1984 in Genf, die bei der Neuplanung der UKW-Frequenzen festlegte, dass für den ungestörten Empfang eine Richtantenne mit einem Antennengewinn von 12 dB nötig ist. Eine Voraussetzung die Autoradios und portable Empfangsgeräte nicht erfüllen. Damit wurde der mobile Empfang nicht mehr unbedingt garantiert.¹⁹

Hinzu kam die Frequenzverknappung im UKW-Bereich. Diese geht heute soweit, dass es in Gebieten mit sehr vielen genutzten Hörfunkfrequenzen zu Interferenzstörungen kommt. Private und öffentlich-rechtliche Anbieter von Hörfunkprogrammen stehen vor der Problematik, dass Frequenzen nur noch kleinräumig und mit geringer Sendeleistung zur Verfügung stehen. Nach

¹⁸ ebd. S. 20.

¹⁹ Vgl. DAMBACHER, PAUL: *Digitale Technik für Hörfunk und Fernsehen*, R. v. Decker's Verlag, Heidelberg, 1994, S. 100.

Aussage der Sächsischen Landesanstalt für privaten Hörfunk und neue Medien (SLM) besteht heute keine Chance mehr ein Bundesland wie Sachsen in seiner Gesamtheit mit einem Radioprogramm zu versorgen, da das zur Verfügung stehende Frequenzspektrum ist ausgeschöpft ist.²⁰ Die Situation in Sachsen ist dabei symptomatisch für die Lage in Gesamtdeutschland. Besonders in dicht besiedelten Regionen ist der „Frequenzmarkt“ gesättigt, da keine weiteren Frequenzen mehr zur Verfügung stehen. Eine weitere Verfeinerung des Frequenzrasters ginge zu Lasten der Empfangs- und Klangqualität. Eine „Verschlimmbesserung“ der Situation mit mehr Frequenzen und stärkeren Interferenzstörungen wäre die Folge. Die Trennschärfe zwischen zwei benachbarten möglichen Senderfrequenzen lässt sich nicht mehr weiter verbessern. Das gilt im Hinblick auf das Problem des Fadings besonders im Bereich des mobilen Empfangs wie er zum Beispiel bei Autoradios vorhanden ist.

Ein weiteres Problem ist die große Sendeleistung des UKW-FM-Systems und die damit verbundenen hohen Kosten für die Sendeanlagenbetreiber. Um einen hohen Versorgungsgrad (beispielsweise zu 99 Prozent der Zeit an 99 Prozent der Orte verfügbar) in einem Sendegebiet zu erzielen muss für ein qualitativ gutes Stereosignal mit einem Signal-Rauschabstand von ca. 40 dB eine sehr große Sendeleistung aufgebracht werden.

Bei digitaler Übertragung gibt es aber im Gegensatz zum analogen Signal mit seinen quasi unendlich vielen Signalzuständen nur die zwei Zustände 0 und 1. Daher kann der Rauschabstand viel geringer gewählt werden.

Für die Verbreitung des Hörfunkprogramms JUMP des Mitteldeutschen Rundfunks sind allein für Sachsen zehn Senderstandorte mit insgesamt 350 kW nötig. Drei große Sender mit jeweils 100 kW (Leipzig, Dresden, Chemnitz/Geyer) werden dabei von kleineren Füllsendern mit Sendeleistungen zwischen 0,2 und 30 kW ergänzt.²¹

²⁰ Vgl. SCHÜLLER, JÜRGEN von der Sächsischen Landesanstalt für privaten Rundfunk und neue Medien (SLM) in: pers. Email, Betr.: „Re: Anfrage zu UKW-Frequenzen“, 13.07.2006

²¹ Vgl. MITTELDEUTSCHER RUNDfunk (Hrsg.): Senderverzeichnis Mitteldeutscher Rundfunk, Kommunikation, Leipzig, 2005

Hörfunkprogramme sind heute so strukturiert, dass der Hörer alle 30 bis 60 Minuten mit aktuellen Verkehrsinformationen versorgt wird. Häufig aber nicht dann, wenn er sie, beispielsweise in der Situation als Autofahrer, benötigt. Ein System, dass diese und andere Informationen, wie aktuelle Programminhalte oder auch Werbung zeitunabhängig übertragen könnte, wäre daher flexibler und den heutigen Anforderungen einer Informationsgesellschaft deutlich näher. Das bestehende RDS-System ist mit seiner geringen Datenrate für die gewachsenen Ansprüche an Informationen längst nicht mehr ausreichend.

Zusammenfassend lässt sich somit feststellen, dass moderne Industriegesellschaften, geprägt durch zunehmende Mobilität und das ständig wachsende Informationsangebot, mit einem Medium, dass nur stationär in ausreichender Qualität zu empfangen ist, nicht mehr zufrieden sind. Der Empfang eines Hörfunkprogramms mit nur sehr wenigen zusätzlichen Daten (RDS) genügen nicht mehr. Die Digitalisierung der Kommunikations- und Unterhaltungsindustrie, angefangen vom CD-Player über Mobiltelefone bis hin zum MP3-Player zeigt, dass ein analoges und störanfälliges System wie das des UKW-Radios nicht mehr zeitgemäß ist, und daher eine vollkommen neue, digitalisierte Technologie zum Einsatz kommen muss. Dabei muss aus ökonomischen Gründen auf eine möglichst sparsame Verwendung von Energie und Bandbreite geachtet werden. Darüber hinaus muss eine spätere Einbindung weiterer Inhalte möglich sein.

Diese Technologie muss also folgende Bedingungen erfüllen:

- CD-ähnliche Tonqualität
- Störungsfreier Empfang im stationären und mobilen Bereich
- Frequenzökonomie für mehr Programme auf geringerer Bandbreite durch geeignete Datenreduktionsverfahren
- Leistungsökonomie für geringere Unterhaltungskosten der Sendestandorte durch verbesserte Kanalcodierung und Übertragung
- Übertragung von zusätzlichen Daten

- Offener Standard für die spätere Implementierung von multimedialen Inhalte.

Nachfolgend soll beschrieben werden, wie ein analoges Audiosignal digitalisiert wird und wie eine Datenkompression möglich ist. Anschließend werden einige Technologien beschrieben, die diesen Anforderungen im unterschiedlichen Maß gerecht werden. Ein anschließender Vergleich soll anhand einiger Parameter klären, welche Technologie für welchen Anwendungsfall am besten geeignet ist.

2. Digitalisierung

Die Art der Verbreitung von Hörfunk hat sich in ihrem analogen Grundprinzip seit der Einführung vor ca. 100 Jahren nicht verändert. Es handelt sich noch immer um die Modulation einer analogen Trägerschwingung durch eine ebenfalls analoge Signalschwingung. Um das analoge UKW-FM-System abzulösen, ist es nötig, diese Art der Signalverarbeitung und -übertragung zu digitalisieren. Daher soll im folgenden beschrieben werden, wie Digitalisierung im Allgemeinen und für den Hörfunk im Besonderen funktioniert.

Ein analoges Signal, wie es beispielsweise die menschliche Stimme repräsentiert, lässt sich laut FOURIER²² stets als Summe sich überlagernder Sinusschwingungen darstellen. Es kann also zu jedem möglichen Zeitpunkt jeden beliebigen Wert (innerhalb gewisser Grenzen) annehmen. Man bezeichnet es daher als zeit- und wertkontinuierlich. Als Wert wird dabei die Amplitude des Signals verwendet.

Ziel ist es nun, dieses Signal in eine binäre Wertefolge zu verwandeln. Das heißt, das Signal hat nur noch zu bestimmten (diskreten) Zeitpunkten einen Wert innerhalb eines festgelegten, abgestuften Wertebereichs. Das Signal soll also zeit- und wertdiskret werden. Die Zeitdiskretisierung wird

²² Vgl. Internetpräsenz der Fachhochschule Friedberg: http://www.fh-friedberg.de/fachbereiche/e2/telekom-labor/zinke/fourier/dipl_hm/dpl03.htm, 30.05.2008

dabei als Abtastung, die Wertdiskretisierung als Quantisierung bezeichnet. Dies muss so erfolgen, dass bei einer erneuten Wiedergabe des Signals keine Verschlechterung durch den Nutzer (Hörer) erkennbar ist, also nur unnötige (nicht hörbare) oder wieder herstellbare (redundante) Informationen verloren gehen.

Zunächst muss sichergestellt werden, dass das analoge Quellsignal sich innerhalb bestimmter Amplitudengrenzen bewegt, um Fehler bei der Wandlung zu vermeiden. Es wird daher beispielsweise mithilfe eines Limiters begrenzt.

Als nächstes muss festgelegt werden, welche kleinstmögliche Werteveränderung nach der Wandlung erhalten bleiben soll. Je höher die Frequenz des Signals ist, je öfter es also seinen Zustand ändern, um so häufiger ändern sich auch die letztendlichen Werte des digitalisierten Signals. Nach dem Abtasttheorem von SHANNON²³ muss das Signal mindestens mit dem Doppelten der maximalen Signalfrequenz abgetastet werden, um es fehlerfrei rekonstruieren zu können. Dazu kann das Signal mittels eines Tief- oder Bandpasses begrenzt werden. Es bietet sich an, die minimale Frequenz (f_{\min}) des Signals größer 0 Hz und die maximale abzutastende Frequenz (f_{\max}) bei 20 kHz anzusiedeln, da das hörbare Frequenzspektrum des Menschen im günstigsten Fall von 16 Hz bis 20 kHz reicht. Es gilt für die Abtastfrequenz (f_{abtast}) daher laut Shannon:

$$f_{\text{abtast}} = 2 * (f_{\max} - f_{\min})$$

Das Abtasten selbst ist physikalisch-mathematisch gesehen eine Faltung des analogen Signals mit einer Folge von idealerweise unendlich kurzen Dirac-Impulsen der Frequenz f_{abtast} . Es entsteht eine zeitdiskrete Folge von Amplitudenwerten, die nun auf feste Werte innerhalb eines vorgegebenen Wertvorrates überführt (quantisiert) werden. Dabei wird der gewonnene Wert einem bestimmten Wertintervall zugeordnet, dessen Mittelwert den neuen diskreten Wert darstellt. Die so gewonnene Reihe von diskreten

²³ Vgl. Internetlexikon Wikipedia: <http://de.wikipedia.org/wiki/Nyquist-Shannon-Abtasttheorem>, 05.06.2008

Werten wird nun mittels eines binären Codes in eine „Null-Eins-Folge“ konvertiert. Die Wandlung des Signals in eine digitale Form ist damit abgeschlossen.

Durch diese Rundung des ursprünglichen Wertes auf einen festen Wert kommt es zu Rundungsfehlern, die man als Quantisierungsrauschen bezeichnet. Je größer dabei der Wertevorrat ist und je kleiner die Abstände zwischen den einzelnen Werten, umso geringer ist das Quantisierungsrauschen. Die Anzahl der möglichen Werte innerhalb des Wertvorrates bestimmt daher die Genauigkeit des digitalisierten Signals. Da bei Musik- und Sprachsignalen die kleinen Amplitudenwerte häufiger auftreten, als die großen (mehr leise, als laute Anteile) wird eine nicht-lineare Quantisierung angewendet. Hierfür gibt es zwei Möglichkeiten:

- Auf analoger Seite lässt sich das Signal vor der Quantisierung komprimieren. Laute Signalanteile werden leiser gemacht, sodass die Amplitudenunterschiede innerhalb des Signals nicht mehr so groß sind. Dann wird das Signal insgesamt in seiner Amplitude angehoben. Auf Empfängerseite erfolgt eine Dekompression (Expansion) um das Signal wieder möglichst originalgetreu herzustellen. Die beiden Schritte werden zusammengefasst als Kompondierung (Kompression und Expansion) bezeichnet.
- Auf digitaler Seite lässt sich durch eine Quantisierung mit viel höherer Stufenzahl als bei der späteren Übertragung ebenfalls eine Verringerung des Quantisierungsrauschens erzielen. Ein Signalprozessor wandelt dann die Werte vor der Übertragung um.

Zur Umwandlung wird das analoge, akustische Signals $s(t)$ mit einer kontinuierlichen Folge von zeitlich äquidistanten, so genannten Dirac-Stößen $\mathbb{I}_T(t)$ moduliert bzw. abgetastet. Die einzelnen Stöße besitzen dabei alle einen normierten Wert „1“. Durch die Modulation entsteht eine Folge von Werten $s_a(t)$, die den Wert des ursprünglichen Signals $s(t)$ zu bestimmten Zeitpunkten widerspiegelt.

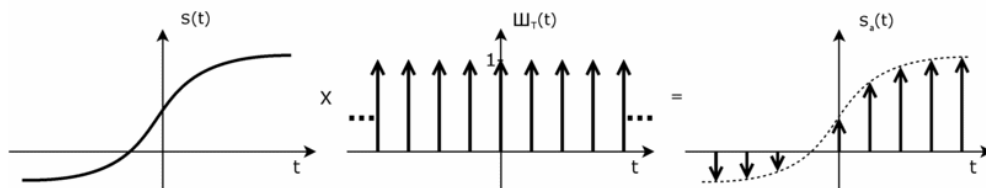


Abbildung 7: Abtastung: Bei der Abtastung des Signals $s(t)$ durch die Dirac-Stoßfolge $\mathbb{I}_T(t)$ entsteht eine Wertefolge, die das Signal widerspiegelt.

Quelle: Internetlexikon Wikipedia: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Bild:Dirac-comb_-_Sampling.png&filetimestamp=20050906200330, 15.06.2008

Aus einem zeitkontinuierlichen ist dadurch ein zeitdiskretes Signal geworden. Je höher die Frequenz der Dirac-Stöße dabei ist, umso exakter wird der Verlauf des Signals wiedergegeben. Ist die Abtastfrequenz zu niedrig (Verstoß gegen das Shannon-Theorem), kommt es zum so genannten Aliasing. Dabei wird das ursprüngliche Signal falsch wiederhergestellt.

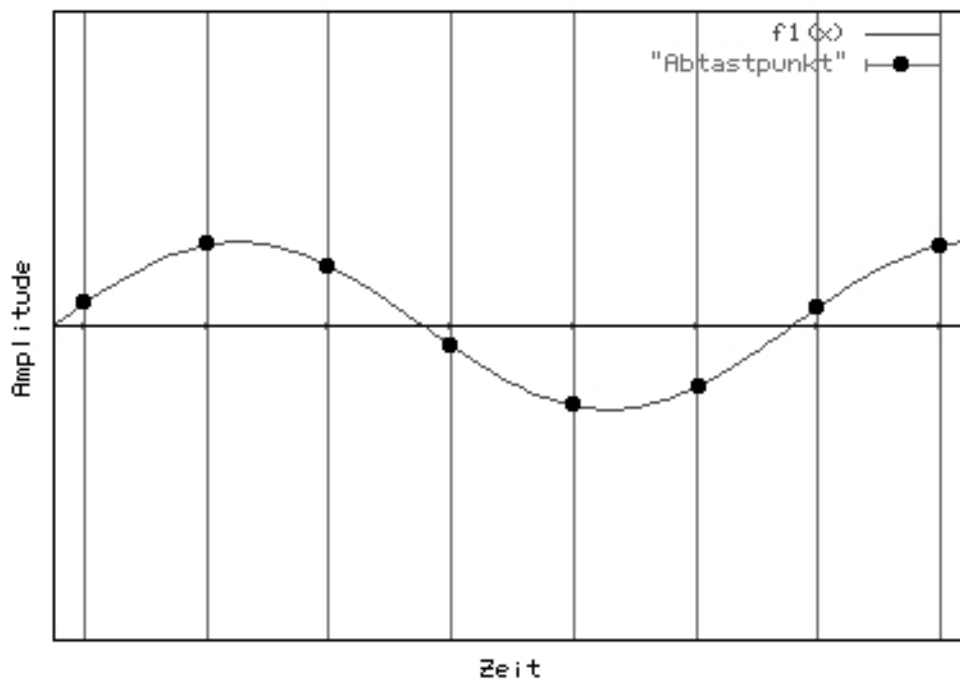


Abbildung 8: Richtige Abtastrate - Hier wird das Abtasttheorem eingehalten. Es stehen genügend Abtastpunkte (Werte) zur Verfügung um das analoge Signal mit der korrekten Frequenz zu erkennen.

Quelle: Universität Köln: <http://www.uni-koeln.de/rrzk/multimedia/dokumentation/audio/sampling.html>, 19.07.2008

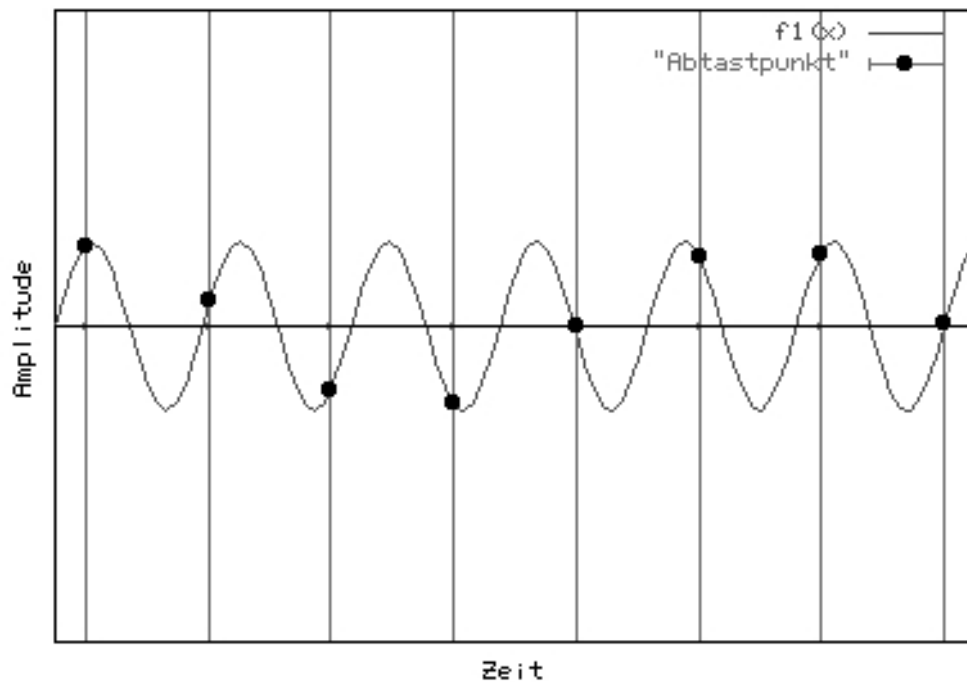


Abbildung 9: Falsche Abtastrate - Durch zu große Abstände zwischen den Diracstößen (zu kleine Abtastfrequenz) lässt sich das Signal nicht mehr korrekt abbilden. Eine gedachte Linie durch die Abtastpunkte ist nicht deckungsgleich mit dem ursprünglichen Signal.

Quelle: Universität Köln: <http://www.uni-koeln.de/rrzk/multimedia/dokumentation/audio/sampling.html>, 19.07.2008

Jeder der Werte muss nun einem festen, quantisierten Wert innerhalb der Werteskala zugewiesen werden. Je feiner unterteilt diese Skala ist, umso exakter trifft der neue Wert dabei den alten.

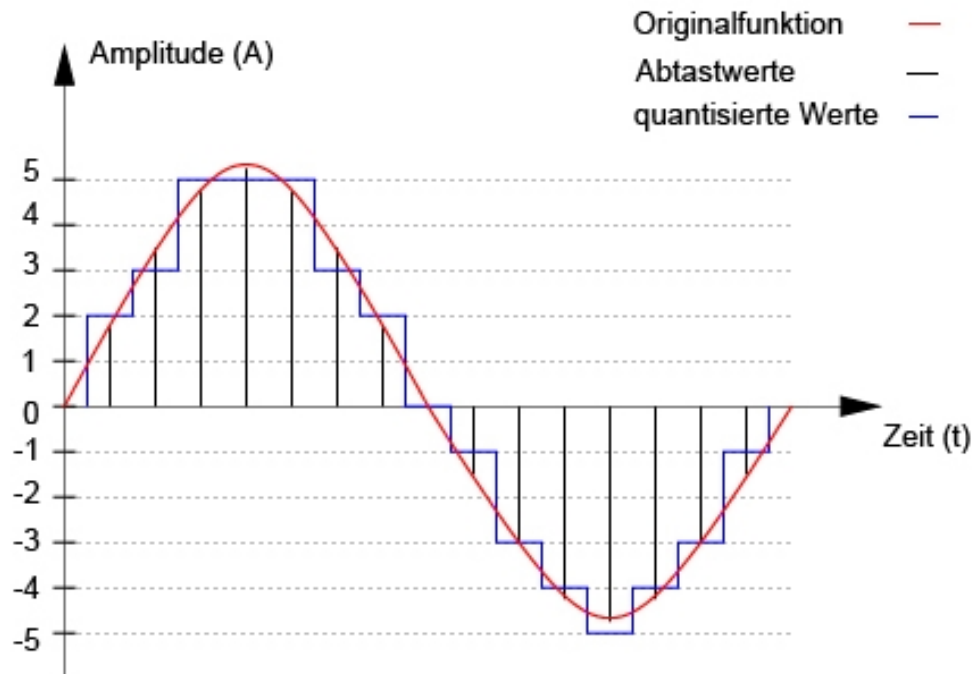


Abbildung 10: Quantisierung: Die Originalfunktion (rot) wird durch die Dirac-Folge abgetastet und es entstehen die Abtastwerte (schwarz). Jedem der Werte wird nun ein fester Wert (blau) zugewiesen (Quantisierung), der Bestand hat, bis ein neuer Wert das Signal beschreibt (sprunghafte Wertänderung).

Quelle: TU-Chemnitz: <http://www.tu-chemnitz.de/urz/kurse/unterlagen/multimedia/rsrc/quantisierung.png>, 04.07.2008

Der Unterschied zwischen tatsächlichem und quantisiertem Wert wird als Quantisierungsfehler bezeichnet und auch für ihn gilt, dass er sich durch sehr feine Skalen verringern lässt. Besonders bei sehr geringen Signalamplituden kommt es zu diesem Fehler. Um ihn zu verringern kann die Skala in diesem Bereich feiner aufgelöst werden, und bei größeren Amplituden gröber. Hörbar werden Quantisierungsfehler als so genanntes Quantisierungsrauschen. Durch die unterschiedliche Auflösung lässt sich der Signal-Rausch-Abstand, also das Lautstärkeverhältnis von tatsächlichem Signal und Rauschen vergrößern.

Anschließend muss jeder der Werte zur Datenverarbeitung noch in einem binären Wert umgewandelt (kodiert) werden. Um die Zahl der möglichen

Signalwerte zu bestimmen, bei der es nicht zu Störungen kommt muss der Dynamikumfang des menschlichen Gehörs herangezogen werden. Dieser beträgt etwa 100 dB. Wobei etwa 6 dB einer Verdopplung der Amplitude entsprechen. Bei binärer Kodierung werden also 16 Bit benötigt, um $16 * 6 = 96$ dB abzudecken. Eine Auflösung von 8 Bit oder weniger führt vor allem bei den leisen Tönen zu einem deutlich hörbaren Quantisierungsrauschen.

Im Audibereich, also bei Frequenzen bis 20 kHz, zum Beispiel bei der Produktion einer Musik-CD, wird das Signal zunächst mit einer Frequenz von 44,1 kHz abgetastet und anschließend mit 16 Bit quantisiert. Dabei entstehen bei einem üblicherweise vorhandenen Stereosignal große Datenmengen. So sind für eine Minute Stereoaudiosignal in CD-Qualität gut 10 Megabyte Speicherplatz nötig.

Berechnungsformel:

$$n * f_{abast} * q * t = D$$

$$\downarrow$$

$$2 * 44,1 * 16 * 60 = 10,09 \text{ MB}$$

mit: n = Kanalanzahl

f_{abast} = Abtastfrequenz in kHz

q = Quantisierungstiefe in Bit

t = Zeit in Sekunden

D = nötige Datenmenge in Megabyte (MB)

Dies entspräche einer Datenrate von ca. 1,4 Mbit/s. Um ein solches digitalisiertes Audiosignal zu übertragen wäre wiederum eine Bandbreite von etwa 1 MHz erforderlich. Im Vergleich dazu benötigt aber ein analoges UKW-Programm nur eine Bandbreite von 300 kHz. Im Sinne der Frequenzökonomie wäre eine Übertragung des Signals in obiger Form demnach nicht wünschenswert, denn eines der Ziele des digitalen Rundfunks war ja die bessere Nutzung des vorhandenen Frequenzspektrums. Daher muss nach der Digitalisierung des Signals noch eine Datenreduktion erfolgen, um die Bandbreite zu verringern.

3. Datenreduktion

Ziel der Reduktion ist eine Erhöhung der Frequenzökonomie. Durch spezielle Tonkodierverfahren wird eine Verringerung auf $1/5$ bis $1/8$ der ursprünglichen Datenrate erreicht, ohne dass das menschliche Ohr eine deutliche Qualitätsminderung wahrnimmt.

Aus den ursprünglichen 1,4 Mbit/s können so 256 kbit/s werden.

Um die Datenmenge im Audiosignal zu reduzieren werden zwei Ansätze verwendet. Zum einen soll alles an Informationen getilgt werden, was das menschliche Ohr nicht wahrnimmt. Dazu werden bestimmte psychoakustische Erkenntnisse angewendet. Zum zweiten wird auf rein mathematischen Weg versucht, die Redundanz, also die unnötige Wiederholung von Informationen, zu unterbinden.

3.1 Das psychoakustische Modell

Um sich im Gewirr und der Vielfalt der akustischen Eindrücke zurecht zu finden, dem das menschliche Ohr, und damit der Mensch selbst, ausgesetzt ist, wird nur ein Bruchteil dessen, was am Ohr ankommt, auch im Gehirn verarbeitet. So werden Geräusche unterhalb einer bestimmten Lautstärke vom menschlichen Ohr nicht mehr wahrgenommen. Dieser Wert ist frequenzabhängig und wird als Ruhehörschwelle bezeichnet.

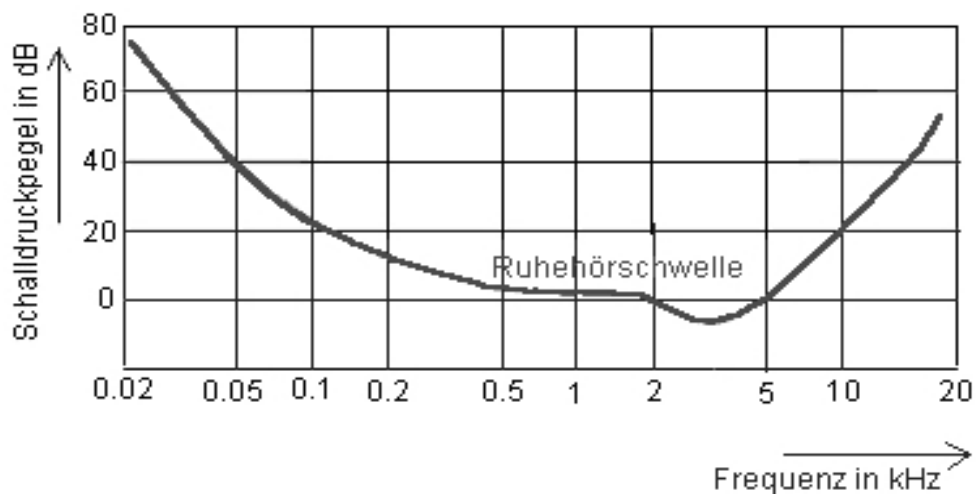


Abbildung 11: Unterhalb der Ruhehörschwelle werden Geräusche und Töne nicht wahrgenommen.

Quelle: Universität Wuppertal: http://www.dasp.uni-wuppertal.de/ars_auditus/psychoak/psychoak4.gif, 11.07.2008

Ein weiteres Phänomen ist die so genannte Verdeckung oder Maskierung von Tönen und Geräuschen. So wird beispielsweise ein leises Geräusch durch ein lautes unhörbar. Dies gilt sowohl dann, wenn die Geräusche oder Töne zeitgleich auftreten, also auch – innerhalb bestimmter Grenzen – für leisere Geräusche zeitlich vor und nach dem lauten Geräusch. Auch hier ist der Lautstärkeschwellwert von der Frequenz abhängig und wird als Mithörschwelle bezeichnet.

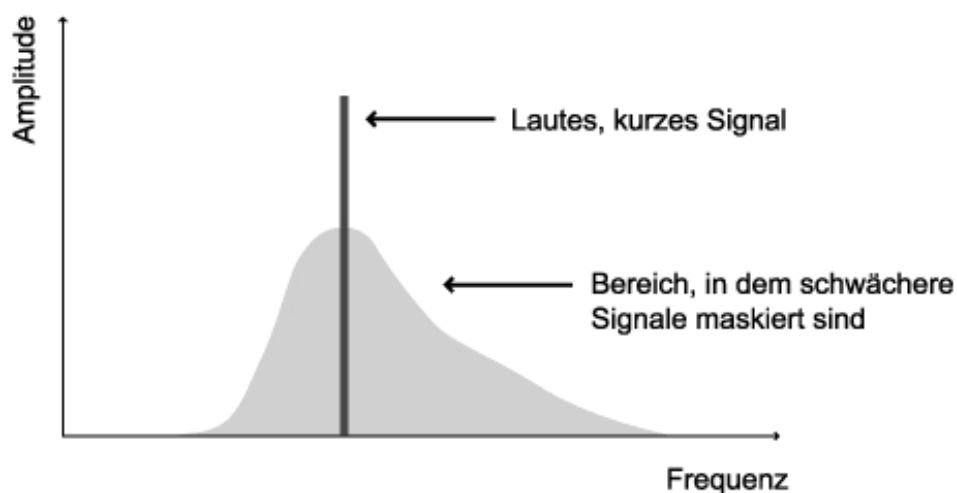


Abbildung 12: Verdeckung: Töne und Geräusche innerhalb des hellgrauen Bereichs werden verdeckt (nicht wahrgenommen).

Quelle: Fachhochschule Wedel: <http://www.fh-wedel.de/~si/seminare/ss02/Ausarbeitung/9.digitalaudio/img/image014.png>, 12.07.2008

Durch die Analyse des Audiosignals lässt sich somit schon ein gewisser Teil der Daten entfernen, da die zugehörigen Signalbestandteile vom Mensch nicht wahrgenommen bzw. weiterverarbeitet werden.

3.2 Der MPEG Standard

Zur Umsetzung der mathematischen Verfahren und des psychoakustischen Modells wird der MPEG-Standard der internationalen Motion Picture Expert Group verwendet. Festgelegte Regeln und Parameter ermöglichen es, die geforderte Reduktion und Komprimierung des Audiosignals vorzunehmen. Die Vorteile liegen zudem noch in weiteren Punkten:

- Verschiedene Qualitätsstufen und Datenraten von 32 bis 384 kbit/s ermöglichen eine flexible Verwendung je nach Signalart.
- Durch einen geschickten Aufbau des MPEG-Bitstroms ist diese Art der Kompression gegenüber Bitfehlern relativ unempfindlich.
- Die Art der Codierung in Teilbändern macht das Verfahren zudem sehr schnell. Die Verzögerung beträgt 45 bis 50ms.
- Standardisierte Längen der einzelnen Audiopakete erleichtern die spätere Weiterverarbeitung.

Für das digitale Radio DAB, das die Grundlage für spätere Weiterentwicklungen, wie DAB+ bildet, wird der Standard MPEG-2 verwendet, der ursprünglich zur Kodierung von Video- und Audiodaten für die digitale Übertragung über Satellit oder Kabel konzipiert war. Je nach Grad der Kompression wird einer von drei möglichen Komplexitätsstufen (Layer) angewendet. Für die Speicherung von Musik auf Digitaler Compact Cassette (DCC) wurde Layer 1 mit den grundlegenden Kodierungsalgorithmen verwendet. Für DAB wird hingegen auf Layer 2 zurückgegriffen.

Eine weitere Möglichkeit zur Datenreduktion bietet MPEG-2 Layer 2 die Beschneidung der Bandbreite des Quellsignals. Ein tiefpassgefiltertes Signal mit beispielsweise 12 statt der beim Radio üblichen 15 kHz Grenzfrequenz ließe sich statt mit 44,1 kHz dann mit 24 kHz abtasten. Das Fehlen der hohen Töne fällt beim normalen Hören kaum auf.

Das Signal durchläuft zur Kompression die fünf Schritte Filterbank, Psychoakustik, Bitzuweisung, Quantisierung und Bitstromformatierung.. Die Verarbeitung erfolgt dabei stets in Blöcken von $2 \cdot 576$ Abtastwerten.

- Die Abtastwerte werden mithilfe der *Filterbank* oder einer schnellen Fourier Transformation (FFT) in 32 Frequenzbänder mit jeweils 36 Abtastwerten geteilt und jedes Band wird in den folgenden Schritten getrennt verarbeitet.
- Mit Hilfe des *psychoakustischen Modells* werden unhörbare Bestandteile herausgefiltert.
- Durch eine geschickte *Verteilung der möglichen Datenbits* auf die 32 Teilbänder soll erreicht werden, dass das Quantisierungsrauschen gerade noch unterhalb der Verdeckungsschwelle ist. Ist das nicht möglich wird das Quantisierungsrauschen in die Bereiche verschoben, wo es dem Hörer am wenigsten negativ auffällt.
- Die Quantisierung übernimmt die ermittelte Mithörschwelle und legt mithilfe der ermittelten Lautstärken innerhalb des Teilbandes bestimmte Skalenfaktoren fest. Anhand derer wird ermittelt, mit wie vielen Werten das Band quantisiert werden soll. Ist der Signalinhalt innerhalb eines Bandes beispielsweise komplett unterhalb der Mithörschwelle, so wird dem Band auch kein Quantisierungswert zugewiesen.
- Abschließend werden die ermittelten Daten zu einem Bitstrom nach bestimmten Vorgaben formiert. Zu den reinen Audiodaten können noch weitere programmzugehörige Daten (Programme Associated Data, kurz PAD) hinzugefügt werden.

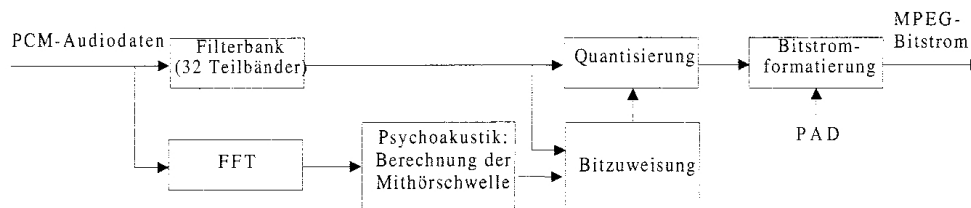


Abbildung 13: Blockschaltbild der Kompression nach MPEG-Standard.

Quelle: LAUTERBACH, THOMAS, *Digital Audio Broadcasting: Grundlagen, Anwendungen und Einführung von DAB*, Dranzis-Verlag GmbH, Feldkirchen, 1996, S.63

Im Bereich des zweikanaligen Audiosignals (Stereosignal) lassen sich weitere Dateneinsparungen vornehmen. Zur Codierung stehen drei Modi zur Verfügung.

- Im *Dual Channel* Modus werden linker und rechter Kanal voneinander unabhängig betrachtet und codiert.
- Für den *Stereo* Modus wird auf weitere Erkenntnisse aus der Psychoakustik zurückgegriffen. Hierbei werden nur noch die relevanten Signalkomponenten codiert, die im Hinblick auf die Korrelation von linkem und rechtem Kanal vorhanden sind.
- Beim so genannten *Joint Stereo* Modus wird der beschränkte Fähigkeit der Richtungsortung von Geräuschen beim Menschen Rechnung getragen. Bei Tönen oberhalb von 2 kHz wird die Signalquelle nicht mehr nach Laufzeitunterschied, sondern nach Lautstärke verortet. Daher wird neben einem monophonen Summensignal auf dem rechten Kanal im linken Kanal nur noch eine Richtungsinformation übertragen. In einer siebenstufigen Skala mit 15° Abstufung lässt sich somit ein 90° Hörfeld abbilden. Dadurch lassen sich im Vergleich zum normalen Stereo noch einmal 10 bis 30 kbit/s einsparen.

Als Weiterentwicklung zum Vorgänger MPEG-1 bietet MPEG-2 zudem die Möglichkeit der Multikanalübertragung. Es lässt sich also Surround-Klang mit fünf Schallquellen codieren. Dazu wird mithilfe einer speziellen Matrix das ursprüngliche Stereosignal auf fünf Kanäle aufbereitet. Eine weitere Möglichkeit der Nutzung ist die Übertragung von Inhalten in verschiedenen Sprachen als Begleitton für Nachrichten oder Reportagen im Radio. Das verfahren ist dabei abwärtskompatibel. Das heißt, das Stereosignal lässt sich trotzdem immer wieder zurückgewinnen. Nachstehend das Aufbau eines MPEG-2 Audio Layer II Rahmens:

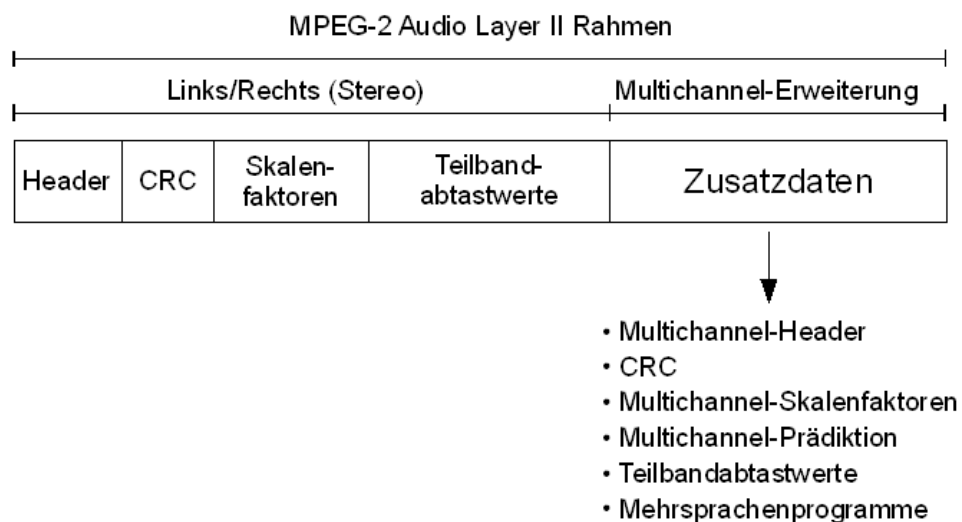


Abbildung 14: MPEG-2 Audio Layer II Rahmen mit Stereodaten und Multichannelerweiterung.

Quelle: eigene Darstellung

Damit steht nach der Codierung und Komprimierung der des Quellsignals ein digitalisiertes Audiosignal zur Verfügung, dass im Vergleich zum ursprünglichen Signal keine oder kaum hörbare Qualitätsverluste zu verzeichnen hat. Gleichzeitig wurde aber die nötige Datenrate auf einen Bruchteil reduziert. Die anfängliche Forderung der Frequenzökonomie konnte somit erfüllt werden.

4. Digital Audio Broadcast – DAB

Als inzwischen am weitesten verbreitete Technologie zur Verbreitung von Hörfunk auf digitaler Basis soll DAB hier ausführlich vorgestellt werden. Weitere Technologien sind teilweise Weiterentwicklungen oder basieren auf ähnlichen Verfahren.

4.1 Zur Geschichte

Im Rahmen des europäischen Forschungsprogramms EUREKA wurde 1986 der Grundstein für die Entwicklung eines digitalen Hörfunksystems (Digital Audio Broadcasting, DAB) gelegt. An EUREKA 147 DAB arbeitet seitdem ein Zusammenschluss aus Forschungsinstituten, Sendernetzbetreibern, Rundfunkanstalten und Industrieunternehmen. Die Bundesrepublik Deutschland hatte dabei unter anderem mit dem Institut für Rundfunktechnik München (IRT) als Forschungsanstalt eine federführende Rolle inne. Die Ziele der Forschungs- und Entwicklungsgruppe waren neben der Schaffung eines Übertragungssystems auch grundlegende Untersuchungen zu Übertragungseigenschaften eines Funkkanals im mobilen Empfang. In den nächsten Jahren gelang die Erarbeitung und Erprobung verschiedener Modelle, die bereits 1988 in einer ersten erfolgreichen Vorführung im Rahmen der Satelliten-Funkverwaltungskonferenz in Genf mündete.

In den Folgejahren wurden die grundlegenden Systemparameter festgelegt und 1994 ein erster Entwurf einer europäischen Fernmeldenorm vom europäischen Institut für Telekommunikationsstandards (European Telecommunications Standards Institute, ETSI) veröffentlicht. Ein Jahr später erschien die endgültige DAB-Norm „ETS 300 401 Radio Broadcasting Systems; Digital Audio Broadcasting (DAB) to mobile, portable and fixed receivers“. Im Laufe der Zeit wurden immer wieder

kleine Veränderungen an dieser Norm vorgenommen und auch zum jetzigen Zeitpunkt gibt es hin und wieder noch Ergänzungen, um der technischen Weiterentwicklung auf anderen Gebieten der Unterhaltungselektronik und der Telekommunikation Rechnung zu tragen.²⁴

Anfang der 90er Jahre lösten größere Feldversuche, unter anderem auch in Deutschland, die reinen Laboruntersuchung ab. 1995 fand in Wiesbaden die Funkverwaltungskonferenz statt, auf der die europaweite Planung der Frequenzen für den DAB-Betrieb vorgenommen wurde. Als Ergebnis entstanden für die Bundesrepublik Deutschland zwei komplette Frequenzbedeckungen für die einzelnen Bundesländer. Dieser Belegungsplan gilt bis heute. Dabei ist die erste Bedeckung im Band III (174-230 MHz) für eine flächendeckende Versorgung des jeweiligen Bundeslandes vorgesehen, und die zweite im L-Band (1467,5-1492 MHz) für eine mögliche Regionalisierung gedacht. Durch diese Festlegung ist es möglich in jedem Bundesland bis zu zwölf Hörfunkprogramme digital und mit zusätzlichen Daten zu übertragen.²⁵

In den Folgejahren wurden die Pilotprojekte auf öffentlich-rechtlicher und privater Seite noch weiter intensiviert. 1999 nahm Sachsen-Anhalt als erstes Bundesland den Regelbetrieb von DAB auf. Damals wurden 95 Prozent der Fläche des Bundeslandes und fast alle der 2,7 Millionen Einwohner versorgt. Kurz darauf löste auch in Bayern der Regelbetrieb die Pilotphase ab und die anfänglichen 40 Prozent versorgter Fläche konnten bis 2001 auf über 90 Prozent gesteigert werden.²⁶

Nach und nach folgten die anderen Bundesländer, und inzwischen ist der Empfang von DAB im Regelbetrieb in allen 15 Bundesländern möglich. Insgesamt 93 Hörfunkprogramme werden dabei im Band III ausgestrahlt, im L-Band kommen noch einmal 114 Angebote für Städte und Ballungszentren hinzu.²⁷ Der Ausbau in der Fläche ist in den letzten Jahren auf über 80

²⁴ Vgl. LAUTERBACH, THOMAS: Digital Audio Broadcasting: Grundlagen, Anwendungen und Einführung von DAB, Franzis-Verlag, Feldkirchen, 1996, S. 26ff.

²⁵ Vgl. GEHRING, GÜNTHER: Rundfunk – Ohne Technik geht es nicht, in: ARD und ZDF(Hrsg.): Was Sie über Rundfunk wissen sollten, Materialien zum Verständnis eines Mediums, VISTAS Verlag, Berlin, 1997, S. 303f.

²⁶ Vgl. Internetpräsenz des WorldDAB Forums, <http://www.worlddab.org/cstatus.aspx>, 23.08.2008

²⁷ Vgl. Internetpräsenz der Initiative Marketing Digital Radio (IMDR),

Prozent angestiegen, wobei es speziell in Schleswig-Holstein und Mecklenburg-Vorpommern noch Bedarf gibt. Dort sind nur die Landeshauptstädte und deren Umland versorgt.²⁸

Nachstehend eine Übersicht, in welchen Frequenzbereichen DAB übertragen wird. Die Übertragung erfolgt in so genannten Ensembles (Programm-Multiplexen, die aus mehreren Programmen sowie Daten bestehen). Zur besseren Orientierung wurden die Ensembles Im Band III den Fernsehkanal 12 zugewiesen. Dort sind vier Ensembles (A-D) möglich. Für Sachsen gilt das Ensemble 12 A. Ein Multiplex besteht dabei beispielsweise aus 6 Programmen mit je 192 kbit/s. Diese Aufteilung ist aber variabel, so dass auch beispielsweise auch Programme mit geringerer oder höherer Datenrate übertragen werden können. Zusätzlich ist auch die Übertragung von reinen Daten (Bild, Text o. ä.) möglich.

DAB-Band	Frequenzbereich
Band III	223 MHz – 230 MHz (Kanal 12)
L-Band	1452 MHz – 1492 MHz

Abbildung 15: Frequenzbereiche DAB

Quelle: eigene Darstellung

[http://www.digitalradio.de/de/programm/programme/main.php?Action=Dopublics.db StationSearch&stationType=0&bundesland=0&order=provider](http://www.digitalradio.de/de/programm/programme/main.php?Action=Dopublics.db%20StationSearch&stationType=0&bundesland=0&order=provider), 23.08.08

²⁸ ebd.



*Abbildung 16: Versorgung der Bundesrepublik Deutschland mit DAB.
Empfang ist in dunkelgrauen Gebieten möglich.*

Quelle: http://www.ueberallfernsehen.de/data/dvb-t_deutschland_stand_26.08.08.pdf,
29.08.2008

4.2 DAB-Technik

Nach der Digitalisierung des analogen Quellsignals und der Tondatenreduktion mittels MPEG-Standard, muss das komprimierte Signal nun an die Besonderheiten der Ausbreitung angepasst werden. Und auch hier ist bedingt durch die Mehrwegeausbreitung das Frequenzfading das größte Problem. Dieses Problem zu umgehen bzw. zu minimieren ist eine der Hauptaufgaben des neuen Modulationsverfahrens für ein digitalisiertes Signal. Es müssen also zwei Bedingungen erfüllt werden, damit die Modulation zu einer erfolgreichen Übertragung und Auswertung des Signals führt:

- Das Signal sollte möglichst breitbandig übertragen werden, um so bei Frequenzeinbrüchen nur einen geringen Informationsverlust zu erleiden
- Die Dauer eines übertragenen Datensymbols muss länger sein, als dessen mögliches Echo, um so eine Signalstörung zwischen den einzelnen Symbolen zu verhindern.

Das Modulations- und Übertragungsverfahren COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing) bietet diese beiden Vorteile und wurde daher zur Übertragung im DAB-Standard ausgewählt.

Im Gegensatz zur herkömmlichen Frequenzmodulation (FM) beim Radioempfang im UKW-Bereich, bei dem das analoge Tonsignal auf eine Trägerfrequenz aufmoduliert wurde, bedient man sich beim COFDM-Verfahren der Möglichkeit das digitale Signal auf mehrere Unterdatenströme zu verteilen und auf eine gleichgroße Anzahl von Unterfrequenzträgern (f_k) aufzumodulieren. Dazu wird das Modulationsverfahren der differentiellen Quadraturphasenumtastung DQPSK (Differential Quadrature Phase Shift Keying) verwandt. Dabei können pro übertragenen Symbol gleich zwei Bits codiert werden. Dadurch erhöht sich bei gleich bleibender Datenrate die Symboldauer, was zu einer größeren Fehlersicherheit führt. Die einzelnen Unterfrequenzträger (f_k) sind

in ihrem Abstand zueinander so gewählt, dass im Frequenzspektrum ihre Maxima genau dort liegen, wo die benachbarten Träger (f_{k-1} und f_{k+1}) ihre Nulldurchgänge haben. Dadurch wird eine gegenseitige Beeinflussung der Träger minimiert. Diese Anordnung bezeichnet man als Orthogonalität der Träger zueinander.

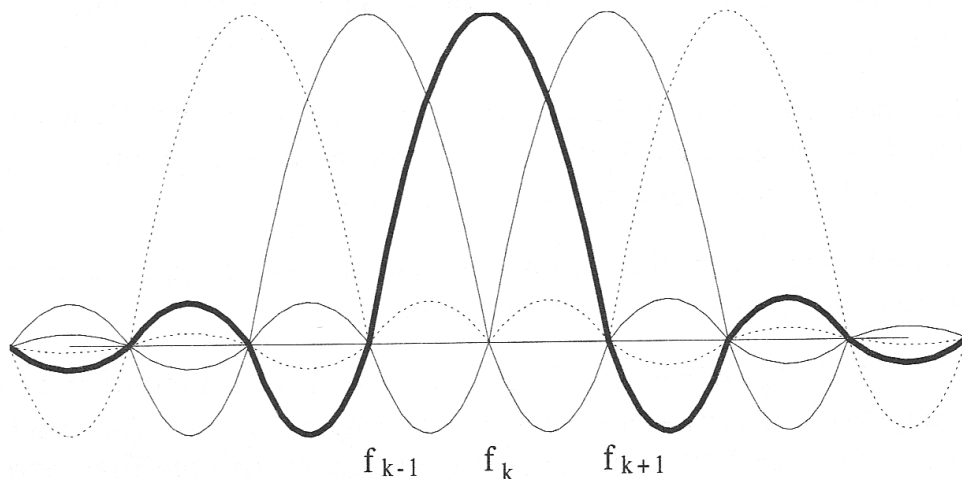


Abbildung 17: Orthogonalität: Durch die spezielle Anordnung der einzelnen Unterträger zueinander wird die gegenseitige Beeinflussung minimiert.

Quelle: LAUTERBACH, THOMAS, Digital Audio Broadcasting: Grundlagen, Anwendungen und Einführung von DAB, Dranzis-Verlag GmbH, Feldkirchen, 1996, S.34

Um eine weitere Qualitätssteigerung zu erreichen wird der eigentlichen Nutzinformation im Symbol noch ein Schutzintervall vorangestellt, das eine Beeinflussung der Symbole untereinander vermindern soll. Ein OFDM-Symbol hat daher die Symbollänge T_s die sich als Summe von T_U (Intervalllänge der Nutzinformation) und Δ (Länge des Schutzintervalls) ergibt:

$$T_s = T_U + \Delta$$

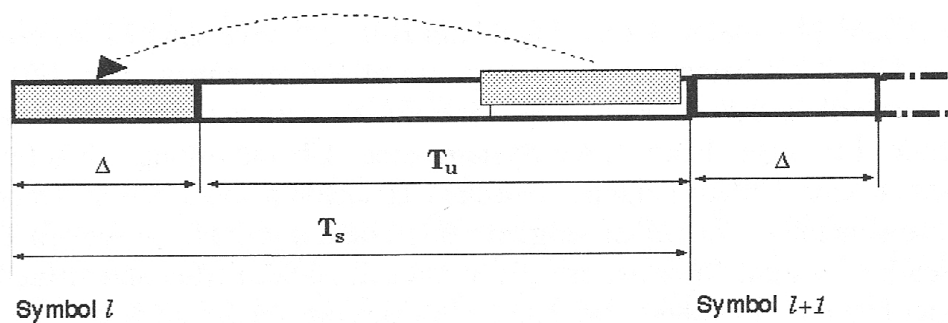


Abbildung 18: Im Schutzintervall, dass der Nutzinformation vorangestellt wird, wird der hintere Teil der Nutzinformation wiederholt. Dies gewährleistet einen Schutz vor Intersymbolstörung.

Quelle: LAUTERBACH, THOMAS, *Digital Audio Broadcasting: Grundlagen, Anwendungen und Einführung von DAB*, Dranzis-Verlag GmbH, Feldkirchen, 1996, S.38

Diese Verlängerung des Schutzabstandes ermöglicht die fehlerfreie Verarbeitung und Auswertung des Signals auch bei größerer Störung durch Mehrwegeausbreitung, weil die möglichen Echos durch den größeren Schutzabstand noch verkräftet werden. Die auftretende Phasenverschiebung zwischen Signal und Echo fallen aufgrund der gewählten differentiellen QPSK nicht ins Gewicht.

Um den Empfang wie oben beschrieben auch mit mobilen Empfängern zu ermöglichen, muss das Signal so gestaltet sein, dass eine Auswertung auch bei Frequenzverschiebung infolge des Dopplereffekts möglich ist. Daher wurden verschiedene Grade an Robustheit für das Signal, die Modi I – IV, festgelegt. Grundsätzlich gilt für alle Modi ein Verhältnis von $\Delta = T_s/4$. Das Schutzintervall beträgt also ein Viertel der Symboldauer. Die Bandbreite eines Übertragungskanal ist dabei stets konstant 1,536 MHz.

- Mode I dient speziell dem Einsatz in großflächigen Gebieten, die mit einem VHF-Gleichwellennetz (Fernsehsender 12, 225 MHz, Band III) ausgestattet sind. Hierbei stehen bei einer anvisierten Bandbreite von 1,5 MHz 1536 Unterträger mit einem Abstand von 1 kHz zur Verfügung. Bei einem anvisierten Gleichwellennetz mit einem Senderabstand von ca. 60 km sind die Echos benachbarter Sender

noch innerhalb des Schutzabstands. Die maximale Geschwindigkeit mit der sich ein Empfänger bewegen kann, ohne dass es zu Störungen kommt liegt bei etwa 200 km/h.

- Der Mode II wurde für den Bereich bis 1,5 GHz eingeführt und besitzt einen Trägerabstand von 4 kHz. Es stehen nur noch 384 Träger zur Verfügung. Dieser Bereich, das so genannte L-Band, wird für lokale Programmabstrahlung mit kleinräumigen Gleichwellennetzen eingesetzt. Die maximale Empfängergeschwindigkeit sinkt aufgrund des geringeren Schutzabstands auf 120 km/h ab.
- Der Mode III wurde speziell für die Übertragung per Satellit eingeführt. Der Trägerabstand steigt auf 8 kHz, die Trägerzahl sinkt damit auf 192.
- Mode IV ist ein Kompromiss zwischen den Modi I und II und soll in Gleichwellennetze mit höherer Frequenz eingesetzt werden. Der Trägerabstand beträgt 2 kHz.²⁹

Modus	Rahmenlänge	Bitzahl	Bruttodatenrate
Mode I	96 ms	233.472 bits	2.432 bit/s
Mode II	24 ms	58.368 bits	2.432 bit/s
Mode III	24 ms	58.752 bits	2.448 bit/s
Mode IV	48 ms	116.736 bits	2.432 bit/s

Abbildung 19: DAB Übertragungsmodi

Quelle: eigene Darstellung

Um den Datenstrom vor Bitfehlern, und damit Decodierungsfehlern, zu schützen wird er durch geeigneten Verfahren mit Redundanz ausgestattet. Durch so genanntes Interleaving (Verschachtelung/Verwürfelung) wird die Bitabfolge so verändert, dass bei einer längeren Störung des Datenstroms

²⁹ Vgl. LAUTERBACH, THOMAS: Digital Audio Broadcasting: Grundlagen, Anwendungen und Einführung von DAB, Franzis-Verlag, Feldkirchen:, 1996, S. 40ff

(Burstfehler) keine zeitlich zusammengehörenden Bits zeitlich nacheinander gestört werden. Diese Kanalcodierung geschieht auf zwei Arten.

- Das Frequenzinterleaving sorgt dafür, dass die Bits nach einem pseudozufälligen Prinzip auf die einzelnen Unterträger verteilt werden.
- Beim Zeitinterleaving werden die Bits zudem nicht direkt nacheinander gesendet. Vielmehr erfolgt eine verzögerte Aussendung der einzelnen Bits mit einem Abstand von je 24 ms. Die serielle Bitfolge wird dazu in eine parallele umgewandelt und die einzelnen Bits verzögert wieder in eine serielle zurückgeführt.

Die Daten werden zur Übertragung in genau festgelegte Rahmen sortiert, die sich periodisch wiederholen und zusätzliche Steuerzeichen enthalten.

Durch Kanalcodierung sowie die Schutz- und Steuerbits sinkt die Nettodatenrate auf 1,8 Mbit/s. Die so zur Verfügung stehende Datenrate kann nun frei für Audio- oder anderen Informationen genutzt werden. Das heißt innerhalb eines 1,5 Mhz-breiten Ensembles ist die Zusammensetzung innerhalb bestimmter vorgaben (z.B. Datenrate der einzelnen Programme) frei wählbar. So lassen sich neben den reinen Audiodaten viele programmbegleitende Informationen wie Liedtext, Albumcover, Nachrichten in Textform, Verkehrsinformationen und anderes übertragen. Auf Empfängerseite muss der Datenstrom nur entsprechend ausgewertet werden können um die Vielzahl an möglichen Zusatzinformationen auch nutzen zu können.

5. DAB+

Als Weiterentwicklung von DAB basiert DAB+ auf noch effizienteren Komprimierungsverfahren, die eine gleichbleibende Klangqualität auch bei geringeren Datenraten garantiert. Hierzu wird nicht mehr auf MPEG-2 sondern auf den Standard MPEG-4 zurückgegriffen. Der verwendete Codec heißt HE-AAC v2 (High Efficiency Advanced Audio Coding). Das Verfahren ist seit 2007 im Einsatz und kann bei gleicher Bandbreite statt der angestrebten 7-9 Programme nun bis zu 30 innerhalb eines 1,5 MHz-Bandes unterbringen.³⁰

Zudem ist das System abwärts kompatibel, sodass sich innerhalb eines Daten-Multiplexes sowohl MPEG-2-codierte Audiodaten als auch MPEG-4-codierte befinden können. Damit ist eine noch komplexere Multiplex-Zusammensetzung möglich. DAB+ wird wie DAB im Band 3 und im L-Band ausgestrahlt.

Ein weitere Vorteil liegt in der höheren Fehlertoleranz von DAB+. Auch bei schlechter Signalqualität lassen sich die Daten zurückgewinnen.³¹

Die Einführung von DAB+ ist in Deutschland für 2009 geplant.³²

³⁰ Vgl. Internetpräsenz von DAB Schweiz, <http://www.dab-digitalradio.ch/?lang=de&c=standards>, 12.5.2008

³¹ Vgl. Internetpräsenz des World DAB Forums, http://www.worlddab.org/public_documents/dab_plus_brochure_200803.pdf, 05.06.2008

³² Vgl. Internetpräsenz des Magazins Teltarif, <http://www.teltarif.de/arch/2007/kw42/s27553.html>, 27.4.2008

6. Die digitale Mittel- und Kurzwelle

Als Konkurrenz zum digitalen Radio im UKW-Bereich entstand Mitte der 90er Jahre die Idee, den Frequenzbereich der Mittel- und Kurzwelle (bis 30 MHz) zu nutzen, und dort Radio in UKW-ähnlicher Qualität anzubieten. Standardisiert wurde das Verfahren, das seit 2003 in Betrieb ist, in der ETSI-Norm ES 201980. Es trägt die Bezeichnung Digital Radio Mondiale (DRM).

Ähnlich wie im UKW-Bereich wird das Frequenzspektrum dabei mittels eines Kanalarsters unterteilt.

Frequenzbereich	Rasterbreite
Kurzwelle (3 MHz – 30 MHz)	10 kHz
Mittelwelle (300 kHz – 3 MHz)	4,5 kHz/9 kHz/18 kHz

Abbildung 20: Kanalarster DRM

Quelle: eigene Darstellung

Durch die physikalischen Ausbreitungsbedingungen der Mittel- und Kurzwelle eignet sich dieses verfahren besonders zur Abdeckung großer Gebiete. Bei gleicher Reichweite ist dafür aber nur noch ein Zehntel der Energie nötig, was zu einer enormen Kostenersparnis führt.

Zur Audiocodierung wird ähnlich wie bei DAB+ auf den MPEG-4 Standard gesetzt. Damit kann schon bei 48 kbit/s ein Signal in UKW-Mono-Qualität erzeugt werden.

Zusätzlich kann für reines Wortprogramm auch das MPEG-4 CELP-Verfahren genutzt werden. CELP (Codebook Exited Linear Prediction) kann Sprache auch noch bei weniger als 14 kbit/s gut wiedergeben. Die Qualität sinkt dabei aber unter die von UKW.

Als drittes Komprimierungsverfahren wird kombiniert mit CELP und die Bandbreitenerweiterung (Spectral Band Replication, SBR) eingesetzt. Dabei wird das Spektrum des Audiosignals analysiert und mit 2 kbit/s eine Beschreibung übermittelt, die die Obertöne des Signals enthält. Dadurch muss nicht mehr das gesamte Spektrum codiert werden. Dieses Verfahren arbeitet besonders gut im Bereich von 500 Hz bis 6 kHz. Im Decoder werden die Obertöne dann anhand der Beschreibung wieder eingefügt. Durch dieses Verfahren lässt sich die Obergrenze des Übertragenen Tonspektrums auf 15 kHz, also UKW-Qualität, ausdehnen.

Die Codierung erfolgt, wie auch schon bei DAB und DAB+ mittels COFDM. Es stehen 200 Unterträger zur Verfügung. Die Datenrate beträgt maximal 25 kbit/s. Um den wellenspezifischen Ausbreitungseigenschaften Rechnung zu tragen wird bei der Bodenwellenausbreitung von Mittelwelle nur ein geringes Schutzintervall benötigt, weil die Laufzeitunterschiede relativ gering sind. Bei der Raumwellenausbreitung der Kurzwelle muss dieses Schutzintervall vergrößert werden, weil durch längere Laufzeiten die Echos größer werden. Das Datenfenster wird dadurch kleiner.

Eine Übertragung von Daten zusammen mit dem Audiosignal ist möglich, geht aber auf Kosten der Klangqualität. 2 – 10 kbit/s können für Text, Bild oder ähnliches verwendet werden.³³

³³ Vgl. RIEGLER, THOMAS: Digitales Radio – Alles über DAB, DRM und Web-Radio, Verlag für Technik und Handwerk GmbH, Baden-Baden, 2004, S. 94ff

7. DVB – Radio im digitalen Fernsehmultiplex

Innerhalb des digitalen Fernsehmultiplexes (Digital Video Broadcast, DVB) ist die Unterbringung von reinen Audiodaten möglich, da Audiodaten ja auch für das Fernsehen benötigt werden. Diese Systemimmanenz lässt sich in den Gebieten Deutschland nutzen, in denen die Verbreitung von digitalem Fernsehen schon stattfindet. Dabei ist es egal ob dies terrestrisch (DVB-T), über Satellit (DVB-S) oder per Kabel (DVB-C) passiert.³⁴ Nachstehend eine Übersicht, in welchem Frequenzbereichen die Daten bei den einzelnen DVB-Arten übertragen werden.^{35 36 37}

DVB-Art	Frequenzbereich
DVB-S	10,7GHz – 12,75 GHz
DVB-T	Band III 174 MHz – 230 MHz Band IV 470 MHz – 582 MHz Band V 582 MHz – 790 MHz Band V 814 MHz – 838 MHz
DVB-C	300 MHz – 450 MHz

Abbildung 21: Frequenzbereiche der DVB Arten

Quelle: eigene Darstellung

³⁴ ebd. 88ff

³⁵ Vgl. Online Lexikon IT Wissen, <http://www.itwissen.info/definition/lexikon/DVB-cable-DVB-C.html>, 14.04.2008

³⁶ Vgl. Online Lexikon IT Wissen, <http://www.itwissen.info/definition/lexikon/DVB-terrestrial-DVB-T.html>, 14.04.2008

³⁷ Vgl. Online Lexikon IT Wissen, <http://www.itwissen.info/definition/lexikon/DVB-satellite-DVB-S.html>, 14.04.2008

Kapitel 4 Vergleichsparameter

Da diese Arbeit das Ziel hat, für einen landesweiten sächsischen Programmanbieter eine Empfehlung hinsichtlich der Wahl der Technologie abzugeben ist es nötig, für die späteren Vergleichsparameter der Technologien, neben den Technologien selbst auch die äußeren Gegebenheiten zu betrachten.

Zum einen gilt es das Umfeld des landesweiten Programmanbieters in Sachsen zu beschreiben. Zum anderen muss auch der Hörer und seine Hörgewohnheiten näher betrachtet werden, um so seine Bedürfnisse und Forderungen zu erkennen.

1. Die sächsische Radiolandschaft

In Sachsen strahlen insgesamt 38 Veranstalter ihr Programm aus. Der Markt setzt sich wie folgt zusammen:³⁸

- 5 einzelne Programme des öffentlich-rechtlichen Rundfunks MDR, terrestrisch
- 4 landesweite, private Programme , terrestrisch
- 17 lokale bzw. regionale, private Programme, terrestrisch
- 5 lokale, nicht kommerzielle Programme, terrestrisch
- 3 fremdsprachige, lokale Programme, terrestrisch
- 3 öffentlich-rechtliche Programme, über DAB

Die landesweiten Sender teilen die Marktanteile im Wesentlichen unter sich auf.

³⁸ Vgl. Internetpräsenz der Sächsischen Landesanstalt für privaten Rundfunk und neue Medien: <http://www.slm-online.de/psk/slmo/powerslave,id,6,nodeid,6.html>, 15.09.2008

Stichprobe: D+EU 10+		Landesweite Sender Gesamt in Prozent				Veränderung	
Basis:	Sachsen						
Angebote:	Sachsen						
Marktanteile (Mo-Fr)		ma 2008 Radio II *)	ma 2008 Radio I	Ab- solut	in %		
Radio gesamt		100	100	0,0	0,0		
Werbefunk gesamt		90,3	91,3	-1,0	-1,1		
JUMP		10,1	10,6	-0,5	-4,7		
MDR Info		2,9	2,4	0,5	20,8		
MDR Figaro		1,9	1,9	0,0	0,0		
MDR Sputnik		0,5	0,5	0,0	0,0		
ENERGY Sachsen		3,9	4,3	-0,4	-9,3		
HITRADIO RTL							
SACHSEN		7,2	6,3	0,9	14,3		
MDR 1 RADIO SACHSEN		26,1	29,8	-3,7	-12,4		
R.SA		9,2	8,7	0,5	5,7		
RADIO PSR		16,9	16,3	0,6	3,7		

Stand: 6. August 2008 - © ARD-Werbung SALES & SERVICES GmbH

Abbildung 22: Marktanteile landesweite Radiosender in Sachsen

Quelle: MA 2008 Radio II einsehbar unter: <http://www.reichweiten.de/index.php?mode=mar>, 27.08.2008

Es zeigt sich, dass die Programme des MDR zusammen 41,5 % des Marktes vereinen. Die vier landesweiten, privaten Sender verfügen zusammen über 37,2 % Marktanteil. Die landesweiten Sender, insbesondere die öffentlich-rechtlichen Programme verfügen also über eine erhebliche Marktmacht. Man kann davon ausgehen, dass durch die Verbreitung einzelner Programme des MDR über digitale Wege, auch die Privaten die neue Technologie nutzen, um dort mögliche neue Zielgruppen zu erschließen.

Digitale Angebote in Sachsen

Digital wird bis dato sehr wenig in Sachsen angeboten. Seit dem ersten Halbjahr wird in Leipzig mit zwei lokalen Sendern DVB-T für drei Jahre erprobt. Die beiden Programme sind:

- Radio Leipzig
- Radio Horeb

Über DAB sind nur öffentlich-rechtliche Sender zu empfangen:

- MDR Klassik
- Deutschland Radio Berlin
- Deutschlandfunk

Da es sich in Leipzig um ein zeitlich begrenztes Projekt handelt, um den Einstieg in DVB-T für lokale Anbieter zu erproben und alle anderen Sender von der MA nicht erfasst werden, ist eine Übersicht der Marktanteile und Reichweiten und insbesondere des Wachstums leider nicht möglich.

2. Radionutzung

Um bestimmen zu können welche Eigenschaften das optimale Radio mitbringen sollte, muss man zunächst einmal betrachten, wann und wie die Menschen Radio hören und welche Eigenschaften ihnen wichtig sind.

Studien zeigen, dass die Nutzung des Radios am Morgen am höchsten ist und im Laufe des Tages immer weiter abnimmt. Zwischen 7 – 8 Uhr schalten die meisten Menschen ein.

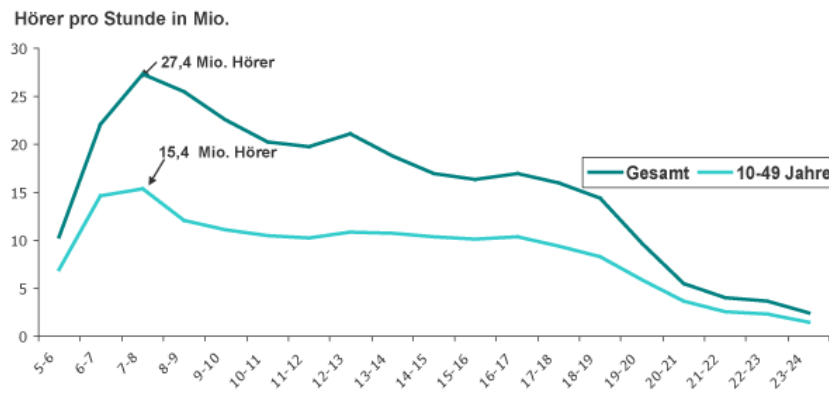


Abbildung 23: Radiohörer im Tagesverlauf

Quelle: Internetpräsenz der Radiozentrale: <http://www.radiozentrale.de/site/64.0.html>, 27.09.2008

Ein fester Bestandteil ist das Radio in verschiedenen Alltagssituationen:

- frühmorgens zum Aufwachen (Radiowecker)
- frühmorgens beim Aufstehen (Ankleiden etc.)
- während des Frühstücks
- bei der Arbeit zu Hause (Hausarbeit, Hausaufgaben)
- während der Fahrt zur/von der Arbeit
- während der Berufsarbeit außer Haus
- im öffentlichen Raum (Supermarkt, Restaurant)
- nachmittags/abends zu Hause³⁹

Und besonders auf dem Weg zur und von der Arbeit gehört das Radio als Begleiter dazu.

³⁹ Vgl. OEHMICHEN, ECKHARDT: Aufmerksamkeit und Zuwendung beim Radiohören in: Mediaperspektiven 3/2001, Frankfurt am Main, S. 133

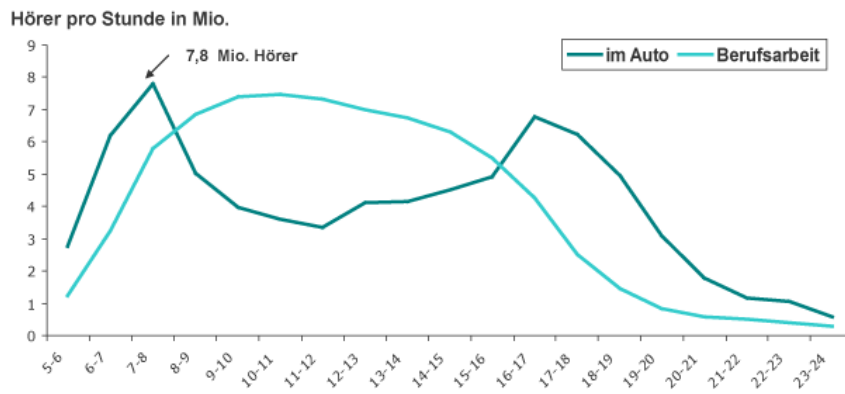


Abbildung 24: Radiohörer im Tagesverlauf während des Autofahrens und am Arbeitsplatz

Quelle: Internetpräsenz der Radiozentrale: <http://www.radiozentrale.de/site/64.0.html>, 27.09.2008

In den verschiedenen Alltagssituationen gibt es neben dem Autoradio eine Reihe von weiteren Kanälen über die Radio gehört wird.

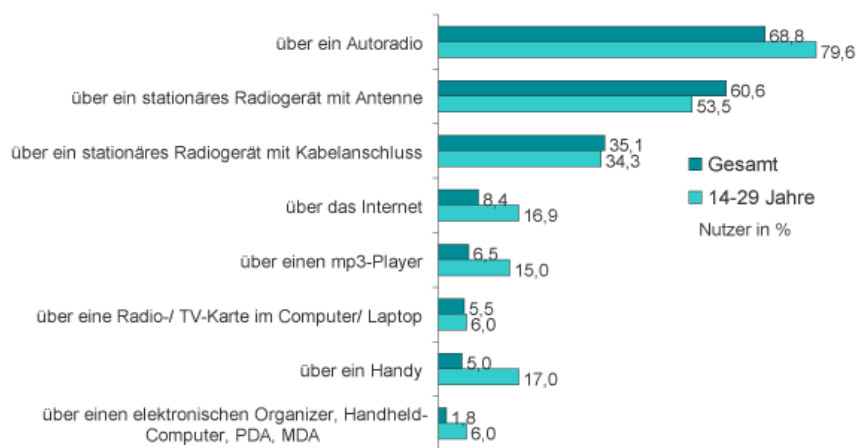


Abbildung 25: Radionutzung

Quelle: Internetpräsenz der Radiozentrale: <http://www.radiozentrale.de/site/540.0.html>, 27.09.2008

Es gibt vier unterschiedlich stark gewichtete Motive zur Radionutzung während des Tages.

Radiohörer ab 14 J. in Hessen (n=1 894), 1. Präferenz, in %

	aktuelle Infos	Hintergrund	Musik u. Moderation	nur Musik
zum Aufwachen	35	2	22	40
beim Aufstehen	34	2	21	43
während des Frühstücks	42	4	25	29
bei der Arbeit zu Hause	19	3	30	48
während Fahrt zur/von Arbeit	31	3	21	45
während der Arbeit außer Haus	22	2	26	49
im Restaurant/in der Kneipe	4	2	13	79
nachm./abends in der Familie				
o. mit Freunden	15	2	21	62
nachmittags/abends allein zu Hause	19	4	24	53
Gewichteter Durchschnitt	30,3	2,8	23,6	43,0

Abbildung 26: Radiointeressen in ausgewählten Alltagssituationen

Quelle: OEHMICHEN, ECKHARDT: Aufmerksamkeit und Zuwendung beim Radiohören in: *Mediaperspektiven* 3/2001, Frankfurt am Main, S. 139

Es zeigt sich also zum einen, dass das Auto einer der wichtigsten Orte ist um Radio zu hören. Die mobile Empfangssituation ist dementsprechend wichtig. Zum anderen wird klar, dass das Radio neben der Musik vor allem der Informationen wegen eingeschaltet wird.

Zusatzdienste wie RDS mit ihren Funktionen für die Senderwahl und zur automatischen Suche nach alternativen Frequenzen kommen dabei ebenso zum Tragen, wie die Automatische Lautstärkeanhebung für die Verkehrsdurchsagen. Radiohören wird dementsprechend komfortabler.⁴⁰

⁴⁰ Vgl. Internetpräsenzen der bayrischen Landesmedienanstalt und Radio Bremen: http://www.blm.de/inter/de/pub/aktuelles/pressemitteilungen/pressemitteilungen.cfm?fuseaction_pre=detail&prid=1009&, <http://www.radiobremen.de/radio/rds.html>

Betrachtet man diese Ergebnisse lassen sich zwei Faktoren benennen, die die Qualität des Radiohörens beeinflussen.

- Zum einen muss die Qualität und der Umfang des Radioempfangs stimmen. Da die Nutzung des Radios vor allem mobil stattfindet ist ein störungsfreier Empfang an möglichst allen Orten ein wichtiges Kriterium.
- Zum anderen die Passgenauigkeit des Inhaltes zum jeweiligen Hörer. Um möglichst hohe Hörerbindung zu erreichen sind vielfältige und individuell abrufbare Informationen neben dem Basis Programm wünschenswert, da die Hörer je nach Persönlichkeit und Tagesverlauf verschiedene Nutzungsmotive mitbringen.

3. Die Vergleichsparameter

Um einen Vergleich der Technologien vornehmen zu können ist es wichtig, bestimmte Vergleichsparameter festzulegen und zu definieren. Im Folgenden sollen die für diese Arbeit verwendeten Parameter vorgestellt werden. Diese leiten sowohl aus den Technologien selbst her, als auch aus den Ansprüchen der Hörer.

3.1 Ausbau des Sendernetzes

Damit ein Radioprogramm gehört werden kann, bedarf es auf Programmanbieterseite einer Infrastruktur zur Verbreitung der geschaffenen Inhalte. Diese Infrastruktur besteht aus einem Netz von Sendeanlagen. Dabei kann von einer Sendeanlage eine Vielzahl von Programmen ausgestrahlt werden. Die einzelnen Programme werden hierfür in der Sendeanlage zusammengeführt und dort auf die jeweiligen Trägerfrequenzen aufmoduliert. Der Grad des Ausbaus eines solchen Sendernetzes lässt sich anhand der vorhandenen Abdeckung bemessen. Das

heißt, inwieweit ist der Empfang des Programms innerhalb eines bestimmten Gebietes möglich, für das die Sendeanlage eingesetzt ist.

3.2 Bandbreite

Innerhalb des zur Verfügung stehenden Frequenzspektrums benötigt ein Programm zur Übertragung eine bestimmte Bandbreite. Je nach Qualität, verwendeter Komprimierung und Codierung schwankt diese Bandbreite. Je geringer die Bandbreite pro Programm ist, umso ökonomischer kann mit diesem knappen Gut umgegangen werden.

3.3 Reichweite

Die Reichweite einer Sendeanlage ist abhängig von der Sendeleistung und den topographischen Besonderheiten des zu versorgenden Gebietes. Dabei ist die Reichweite umso größer, je größer die Sendeleistung ist. Negativ auf die Reichweite wirkt sich das Geländeprofil aus. Je welliger bzw. bergiger ein Versorgungsgebiet ist, umso schwieriger ist es mit nur einem Sender alle Punkte des Gebiets mit dem Signal in adäquater Qualität zu versorgen. Abhilfe schafft in diesem Fall der Einsatz so genannter Stützsender, die das ausgestrahlte Signal empfangen und dann auf einer anderen Frequenz in den Bereich abstrahlen, der vom eigentlichen Sender nicht versorgt wird. Das Prinzip wird als Ballempfang bezeichnet. Für Sachsen ist der Ballempfang besonders im Gebiet von Erzgebirge und Vogtland nötig, um die Täler zu versorgen die durch Signalabschattung der Berge sonst nicht ausreichend versorgt würden.

Die Ausbreitungseigenschaften von Funkwellen im UKW-Bereich lassen einen Empfang bei ausreichender Sendeleistung auch über den optischen Horizont hinaus zu. Als Faustformel kann dabei angenommen werden, dass die Wellen bis zu 15 % hinter dem optischen Horizont noch empfangbar sind. Dies gilt allerdings nur für ebenes Gelände. Topographisch ungünstige

Gebiete werden daher mittels des oben beschriebenen Ballempfang-Prinzips versorgt. Wodurch die Sendernetzdichte steigt.

Als Obergrenze für die Sendeleistung sind im UKW-Bereich 100 kW festgelegt. Verglichen werden soll hier anhand einer bestimmten Sendeleistung die maximale Reichweite.

3.4 Empfangsqualität

Die Empfangsqualität zukünftiger digitaler Technologien muss sich immer an der von UKW messen. Der Anspruch bei der Digitalisierung war zudem eine Klangverbesserung bis auf CD-Qualitätsniveau. Neben der reinen Klangqualität war auch deren Konstanz bei mobilen Empfang eine Forderung an neue Technologien. Die Störanfälligkeit musste geringer sein, als beim vorhandenen UKW-System. Klangqualität lässt sich nur subjektiv bestimmen, Störanfälligkeit und Robustheit aber zum Beispiel anhand des so genannten Signal-Rausch-Verhältnisses (SNR). Dieses beschreibt, das Verhältnis von Nutzsignalleistung zu Störsignalleistung (Rauschen). Der Wert wird in dB angegeben. Für UKW liegt dieser Wert für einen qualitativ guten Empfang eines Stereosignals bei 40 dB. Ist das Verhältnis schlechter, so ist das störende Rauschen besonders bei leisen Signalanteilen hörbar. Im digitalen Bereich führt ein zu geringes Verhältnis dazu, dass das Signal nicht mehr fehlerfrei decodiert werden kann. Es kommt also zu Aussetzern oder fehlerhafter Wiedergabe. Wie stark also, kann ein Signal gestört werden, ohne dass es beim Empfang zu hörbaren Qualitätsverlusten kommt?

3.5 Empfangsgeräte

Für die neuen, digitalen Übertragungstechnologien sind die alten, analogen Empfangsgeräte nicht geeignet. Daher sind neue Empfänger nötig. Betrachtet werden soll hier stichprobenartig, welche Geräte es gibt und welchen Anteil die digitalen Geräte im Vergleich zu den analogen haben.

Außerdem werden beispielhaft für bestimmte Geräte die Preise angegeben. Wichtig ist in diesem Zusammenhang auch die kurze Betrachtung der Marktpolitik der Gerätehersteller. Bei technologischen Erweiterungen auf anderen Gebieten der Unterhaltungselektronik wie etwa DVD oder derzeit Blue Ray Disc war bei der Marktdurchsetzung eines Formats oft nicht die technische Überlegenheit letztlich entscheidend sondern dass einige Hersteller eine aggressive Marketing- und Marktverdrängungsstrategie betrieben.

3.6 Übertragbarkeit zusätzlicher Informationen

Hier soll gezeigt werden, inwieweit über das reine Audiosignal hinaus noch Informationen übertragen werden können. Außerdem wird die mögliche Informationsmenge anhand der Datenrate angegeben. Die zusätzlichen Möglichkeiten und Informationen sind ein entscheidendes Kriterium bei der Wahl der Technologie. Bereits während der Entwicklung von UKW haben sich neben dem reinen Radioempfang Zusatzfunktionen wie RDS etabliert. Hinter diesen Funktionen verbergen sich nicht nur zusätzlicher Nutzen für den Hörer und damit Hörerbindung sondern auch zukünftig mögliche Einnahmequellen. Daher ist die Frage, mit welchen Zusatzfunktionen die einzelnen Technologien ausgestattet sind, von besonderer Bedeutung für die Sender.

Kapitel 5 Der Vergleich der Technologien

Im folgenden Vergleich sind soweit möglich konkrete, quantitative Angaben gemacht. In einigen Fällen ist jedoch lediglich eine qualitative Einschätzung möglich, da keine Daten erhoben oder veröffentlicht werden. Neben den digitalen Technologien wird, soweit sinnvoll auch mit dem analogen UKW-System verglichen. Abschließend wird in einem Fazit eine Empfehlung für eine der Technologien gegeben.

1. Ausbau des Sendernetzes

Für die DAB-Technologien ist, nach einer anfänglichen Testphase mit einzelnen kleinen Sendern, nach und nach ein flächendeckendes Sendernetz im gesamten Bundesgebiet entstanden, das inzwischen etwa 85 Prozent Deutschlands abdeckt.⁴¹ Wobei ein gewisses Nord-Süd-Gefälle zu beobachten ist, bei dem die dünnere Besiedelung der nördlichen Bundesländer einen geringeren Stand des Ausbaus bewirkt hat.⁴²

Für DRM kann das bestehende Sendernetz genutzt werden, das eine flächendeckende Versorgung ermöglicht.

Bei DVB ist die Situation von Technologie zu Technologie unterschiedlich. Der Ausbaugrad (DVB-T) bzw. die Bereitschaft Programme in den vorhandenen Multiplex einzuspeisen weichen teilweise stark von einander ab.

Für UKW kann von einer Abdeckung von ca. 95 Prozent ausgegangen werden, wobei die Bevölkerung komplett versorgt sein sollte.

⁴¹ Vgl. Internetpräsenz von World DMB
http://www.worlddab.org/country_information/germany, 15.04.2008

⁴² Vgl. Hintergrundpapier zum Vortrag von RA Thomas Kleist, Berlin, 20. September 2006 einsehbar unter: http://www.emr-sb.de/news/emr_kleist_20092006.pdf, 17.04.08

Technologie	Stand des Ausbaus (Flächenabdeckung in Prozent)	Bemerkungen
DAB	ca. 85%	Im Süden der Republik stärker, als im Norden ausgebaut, weil dichter besiedelt. Teilweise Umrüstung bestehender Sendeanlagen
DRM	100%	Nutzung des bestehenden Sendernetzes durch Umrüstung
DVB-S	100%	Empfang über das digitale Satellitenfernsehen
DVB-T	je nach Gebiet abweichend, Zielsetzung bis Ende 2008 ist es 80 Prozent der Bevölkerung zu versorgen	Die genaue Abdeckung ist anhand der Abb. 18 zu erkennen
DVB-C	bundesweit, je nach Anbieter unterschiedlich	Das Kabelnetz wird von Kabel Deutschland, Kabel BW und Unity Media betrieben. Sie entscheiden über die mögliche Einspeisung
UKW	ca. 95 %	Bedingt durch die Topographie ist der Empfang nicht überall möglich. Die Bevölkerung wird aber vollständig versorgt.

Abbildung 27: Prozentuale Abdeckung des Sendernetzes

Quelle: eigene Darstellung

Für alle Technologien bestehen Sendernetze mit hohem Ausbaufaktor. Besonders im ländlichen Raum ist aber die Abdeckung der terrestrischen bzw. kabelgebundenen Technologien noch nicht vollständig. Der Ausbau schreitet aber immer weiter voran.



Abbildung 28: Versorgung in Deutschland mit DVB-T, Stand Mitte 2008

Quelle: http://www.ueberallfernsehen.de/data/dvb-t_deutschland_stand_26.08.08.pdf, 24.09.2008

2. Bandbreite

Technologie	nötige Bandbreite	Bemerkung
DAB	1,536 MHz pro Ensemble	Programme werden immer in Multiplex-Ensembles ausgestrahlt. Die eigentliche Bandbreite hängt davon ab, wie stark das Audiosignal nach der Digitalisierung noch komprimiert wurde und welche Qualität das Signal dementsprechend hat.
DRM	zwischen 4 und 18 kHz	Wenn zusätzlich Daten übermittelt werden sinkt die Bandbreite für Audio
DVB-S	zwischen 26 und 54 MHz	
DVB-C	zwischen 7 und 8 MHz	
DVB-T	zwischen 7 und 8 MHz	
UKW	300 kHz	laut Kanalaraster. Inzwischen wird das Raster so weit verengt, dass die Bandbreite teilweise auf 100 kHz sinkt

Abbildung 29: Bandbreiten für ein Programm bzw. Programmensemble

Quelle: eigene Darstellung

Die geringste Bandbreite hat demnach die digitale Mittel- bzw. Kurzwelle. Allerdings ist auch die Klangqualität dementsprechend meist unterhalb der von UKW. Die tatsächliche Bandbreite bei DVB und DAB hängt von der gewünschten Tonqualität ab. Je höher sie ist, um so mehr Platz innerhalb des Ensembles wird benötigt.

3. Reichweite

Um einen direkten Vergleich anstellen zu können wurde für die Technologien DAB, UKW und DRM eine Normierung der Sendeleistung auf 10 kW festgelegt. Die anderen Technologien werden an dieser Stelle nicht betrachtet. Die Werte sind gemessene bzw. berechnete Entfernungen von Sendeanlagen des Deutschlandradio.⁴³

Technologie	Reichweite (Radius)	Bemerkungen
UKW	ca. 40 km	
DAB	ca. 40 km	angenommen wurde mobiler Empfang im Band III
DRM	ca. 40 km	angenommen wurde Mittelwelle mit Tagesreichweite

Abbildung 30: Reichweiten bei gleicher Sendeleistung

Quelle: eigene Darstellung

Es scheint also auf den ersten Blick keinen Unterschied zwischen den Technologien zu geben. Wird aber zum Beispiel bei DAB statt dem mobilen bzw. Outdoor-Empfang ein Indoor-Empfang (z.B. ein Küchenradio) angenommen, so sieht die Sache schon wieder anders aus. Durch schlechtere Antennen und die starke Gebäudedämpfung geht der Empfang dann um 9 bis 20 dB zurück und ein vormals gut zu empfangendes Signal

⁴³ Vgl. Telefongespräch mit Michael Hüther, Deutschlandfunk Köln, 22.06.08

bricht völlig zusammen. Außerdem muss die Limitierung der Sendeleistung für DAB von 1 kW bzw. 10 kW (in Bayern) berücksichtigt werden. Grund dafür sind die Befürchtungen der Bundeswehr, der Funkverkehr im Kanal 12 könnte den im Kanal 13 befindlichen Bundeswehrrundfunk stören. Nach und nach wird die Begrenzung zwar aufgehoben, viel mehr als 10 kW sind aber noch nicht möglich. Daher muss die Senderdichte für eine wirkliche flächendeckende Versorgung mit DAB noch deutlich erhöht werden. Für das L-Band ist die Reichweite durch die höhere Frequenz noch etwas geringer.

Bei DRM ist das Problem die unterschiedliche Ausbreitung zwischen Tag und Nacht. Am Tag wird gelangen nur die Bodennahwellen zum Empfänger, wobei auch hier wieder die Topographie ist auch hier die Ausbreitung beschränkt. In der Nacht werden die Wellen an der Ionosphärenschicht der Atmosphäre reflektiert, es sind Programme von weit entfernten Sendern empfangbar. Eine durchgängige Übertragung ist daher nur schwer möglich.

4. Empfangsqualität

Der Mensch kann Töne im Bereich von 16 Hz bis etwa 20 kHz wahrnehmen, wobei die Fähigkeit hohe Töne zu hören im Alter abnimmt. Zur Bandbreitenreduktion ist aber schon bei UKW nach 15 kHz Schluss. Und durch jahrelanges Hören dieses quasi tiefpassgefilterten Audiosignals (im Vergleich zur CD mit einer theoretischen Grenzfrequenz von 20.500 Hz) ist die Erwartung an brillante Höhen nur begrenzt vorhanden.

Dennoch hatten die Entwickler von DAB den Anspruch, Musik in CD-Qualität zu übertragen. Theoretisch ist dies sogar zumindest was obere Grenzfrequenz angeht möglich.

Für DRM ist ebenfalls bei 15 kHz Schluss. Durch die Bandbreitenerweiterung werden Oberwellen bis zu dieser Frequenz generiert.

Neben dem subjektiven Klangwahrnehmungen wie „dumpf“ oder „blechern“ lässt sich aber auch Störanfälligkeit, die ja ebenfalls ein

Qualitätsmerkmal für den Empfang darstellt, direkter bestimmen. Dazu wird das Signal-Rauschverhältnis herangezogen.⁴⁴

Technologie	min. SNR für quasi störungsfreien Empfang/fehlerfreie Deodierung
UKW	40 dB
DAB	15 – 20 dB
DRM	20 – 25 dB

Abbildung 31: Minimaler Signal-Rauschabstand für störungsfreien Empfang

Quelle: eigene Darstellung

Hier lässt sich klar der Vorteil der digitalen Technologien DAB und DRM erkennen. Sie kommen mit viel geringeren SNR aus um ein Signal noch fehlerfrei auszuwerten. Dies wiederum bedeutet, dass größere Störungen verkraftet werden können.

5. Empfangsgeräte

Für den Empfang von UKW stehen Geräte in vielfältiger Form und in allen Preisklassen zur Verfügung. Einfachste Radios bekommt man heutzutage schon für unter 10 Euro. Anders sieht es bei Empfängern für digitales Radio aus.

Für DAB/DAB+ stehen ebenfalls eine Vielzahl von Geräten sowohl für den Wohnbereich als auch das Auto und den mobilen Empfang zur Verfügung. Jedoch sind hier die Kosten aufgrund der aufwändigeren Technik im Inneren der Geräte deutlich höher. Einfache Geräte gibt es schon für etwa 65 Euro. Intempo bietet zu diesem Preis ein kleines Kofferradio, das neben dem Band III auch noch analoges UKW empfangen kann. Nach oben ist

⁴⁴ ebd.

preislich kaum eine Grenze gesetzt. Edelmarken bieten Geräte für 6.000 Euro. Music Fidelity bietet dafür ein CD-Radio mit mit Röhrenvorstufe und Empfangstechnik für L-Band, Band III und UKW. Zudem werden sowohl CD- als auch Radiosignal mit 24 Bit Tiefe auf 192 kHz upgesampelt. Wer es ganz einfach mag der kann aber auch für ca. 45 Euro von Trinloc einen reinen DAB-Empfänger für Band III und L-Band erstehen. Die empfangenen Daten werden dann per USB an einen PC übermittelt und können dort aufgezeichnet werden. Und auch für Autofahrer gibt es seit einigen Jahren DAB-Radios. Vorreiter sind neben Blaupunkt (Nashville-Serie, ab 380 Euro) auch die Autohersteller BMW (410 Euro) und Opel (1.440 Euro). Der durchschnittliche Preis für ein DAB-Radio liegt bei etwa 200 bis 300 Euro⁴⁵.

Laut einer Studie der Universität Bonn aus dem Jahr 2007 wurden hochgerechnet auf die Gesamtbevölkerung der Bundesrepublik Deutschland bisher etwa 546.000 DAB-Empfangsgeräte gekauft.⁴⁶ Dem stehen aber mehr als 200 Millionen analoge Radios gegenüber.

Im DRM-Bereich sind es häufig Kombi-Geräte die neben Digital Radio Mondiale auch DAB und analoges Radio empfangen können. Verkaufszahlen wurden dazu bisher von den Herstellern noch nicht veröffentlicht. Es dürfte sich aber um deutlich weniger Geräte als im DAB-Bereich handeln. Ein einfaches Gerät von Morphy Richards gibt es für unter 200 Euro⁴⁷. Aber auch hier sind Preise von mehreren hundert Euro keine Seltenheit. Neben stand-alone-Geräten gibt es auch hier Empfänger, die an den PC angeschlossen werden, wie beispielsweise der DRM-Empfänger Digital World Traveller für ca. 235 Euro.⁴⁸

⁴⁵ Vgl. Internetpräsenz des IMDR e.V.: <http://www.digitalradio.de/digital-radio/suche-empfangsgeraete/>, 20.09.2008

⁴⁶ Vgl. Internetpräsenz der Trinloc GmbH: <http://blog.trinloc.de/tag/zem/>, 21.09.2008

⁴⁷ Vgl. Internetpräsenz von Thiecom: <http://www.thiecom.de/morphy-richards-drm-radio.html>, 19.09.2008

⁴⁸ ebd.

6. Übertragbarkeit zusätzlicher Informationen

Einer der großen Anreize bei der Entwicklung der digitalen Übertragungstechnologien war es, neben dem reinen Audiosignal noch weitere Informationen zu übertragen. Aber auch schon UKW besitzt diese Möglichkeit. Mittels RDS können Zusatzinformationen übermittelt werden. Aber erst mit der fortgeschrittenen Entwicklung im Bereich der Digital- und Nachrichtentechnik war es möglich, das Audiosignal vollständig in binäre Daten zu verwandeln und mit anderen Daten kombiniert zu übermitteln. Nachstehend soll zunächst die Datenrate der einzelnen Technologien als Gradmesser für die Übertragbarkeit weiterer Informationen dienen.

Technologie	Datenrate	Bemerkungen
UKW	brutto: 1.187,5kbit/s netto: ca. 731 kbit/s	Für Schutzinformationen und zur Synchronisation wird ein Teil der möglichen Datenrate gebraucht.
DAB	brutto: 2.432 kbit/s netto: ca. 1,8 Mbit	
DVB-C	netto: 38,5 Mbit/s – 51,3 Mbit/s	Abhängig vom verwendeten Modulationsverfahren (QAM64 od. QAM 256), bei einer Bandbreite von 8 MHz
DVB-T	netto: 4,36 Mbit/s – 31,6 Mbit/s	je nach Bandbreite (7 od. 8 MHz) und Modulationsverfahren (QPSK/QAM-16/ QAM-64)
DVB-S	netto: 17,8 Mbit/s – 64,5 Mbit/s	je nach Bandbreite (26 – 54 MHz) mit QPSK
DRM	netto: ca. 25 kbit/s	durch Bindung an das Kanalaraster im Mittelwellenbereich zur Zeit noch keine höheren Datenraten (bei Bandbreitenerweiterung auf 18 kHz → 48kbit/s)

Abbildung 32: Bandbreite für zusätzliche Daten neben den Audiodaten

Quelle: eigene Darstellung

Würde man nur die Datenrate betrachten dann wäre der „Gewinner“ in diesem Fall DVB-S. Aber zum einen ist die dauerhafte Einspeisung ungewiss und zum anderen ist die Empfangstechnik im Vergleich zu DAB recht teuer. Die möglichen Zusatzdaten bei DRM sind dagegen recht gering (2-10 Kbit/s).

Je nach Datenrate und Menge der Audiosignale im DAB-Ensemble steht noch gut 1 Mbit/s für Daten zur Verfügung.

Die Möglichkeiten, welche Zusatzdaten übertragen werden sind extrem umfangreich. Angefangen bei der reinen Umsetzung des RDS (einblenden des Programmnamens) lassen sich beispielsweise zahlreiche Informationen zum aktuellen Musiktitel übermitteln. Theoretisch könnte der komplette Wikipedia-Eintrag von Tina Turner übermittelt werden, sobald „Simply the Best“ läuft. Oder die aktuellen Tourdaten werden eingeblendet und die passende Telefonnummer für die Eintrittskarten.

Daneben lassen sich aber auch die aktuellen Nachrichten und Verkehrsinformationen übermitteln. In Autoradios können diese Informationen an ein Navigationssystem gekoppelt im Hintergrund Umleitungen für Staus oder Unfälle errechnen, ohne dass der Fahrer gestört wird, so wie es sich der ADAC noch 2005 gewünscht hat⁴⁹. Inzwischen ist dieser Wunsch Realität geworden. Damit gehört auch die zeitliche Bindung an den Halbstunden-Rhythmus, in dem Nachrichten und Verkehrsinformationen im Radio mitgeteilt werden der Vergangenheit an. Jederzeit lassen sich die gewünschten Informationen nachlesen, wenn sie von den Programmachern übermittelt werden.

Parallel zum AC-Format könnten moderierte oder unmoderierte Musikstrecken (Oldies, Deutschpoprock, Schlager, Rock...) gesendet werden um so jedem Musikgeschmack gerecht zu werden, ohne dass der Hörer den Sender wechseln muss. So können langfristig mehr Hörer an eine Programmmarke gebunden werden.

Analog zur Fernsehzeitschrift ließe sich zudem ein elektronischer Programmführer (EPG) übermitteln. Damit die Hörer wissen, wann was gespielt wird, oder wann welcher Beitrag, welche Sendung läuft.

⁴⁹ Vgl. OEHM, EHRHARD: Interview in: Meinungsbarometer Digitaler Rundfunk, April 2005, einsehbar unter: http://www.dr-m.info/Meinungsbarometer/download/Meinungsbarometer_April_2005.pdf, 26.09.2008

Fazit

Die technische Entwicklung ist auch im Bereich Radio nicht stehen geblieben. Und als das, was der UKW-Rundfunk bei seiner Einführung kurz nach dem zweiten Weltkrieg mal war, ist er inzwischen nicht mehr wieder zuerkennen. Stereophonie, ARI, RDS, allesamt nützliche Weiterentwicklungen die Radio noch besser und hörenswerter gemacht haben. Aber an einem bestimmten Punkt im Lebenszyklus eines Produkts ist der Punkt gekommen wo eine Weiterentwicklung nicht mehr möglich ist. Spätestens dann ist es an der Zeit zu überlegen, wie man das Produkt auf einer anderen Ebene weiterführen kann bzw. welches andere Produkt den Kunden an das Unternehmen bindet. Das gilt auch und gerade für das System „UKW“. Das Interesse am angestammten UKW sinkt, neue Anreize und Technologien müssen her, um dauerhaft die Hörer zu binden. Diese Arbeit hat daher zum einen die aktuelle Situation dieser Technologie dargelegt und gleichzeitig neue, digitale Technologien vorgestellt, die UKW wenn schon nicht auf einen Schlag ersetzen, so doch nach und nach ablösen können. Ziel war es dabei eine passende Technologie für einen landesweiten Radioprogrammanbieter mit AC-Format in Sachsen zu finden. Im Folgenden daher eine Einschätzung.

Gute Klangqualität, die Möglichkeit neben dem eigenen Audiosignal weitere Informationen zu übermitteln und dabei möglichst das bestehende Sendegebiet komplett zu versorgen sollen die Eckpfeiler für die Entscheidung zu einem der Systeme sein.

Gute Klangqualität ist aufgrund der Datenrate bei DRM nicht zu erwarten. Ein UKW-Mono-adäquates Klangerlebnis stellt keinen Hörer in einem AC-Format zufrieden. Zumal, wenn das zugehörige Programm aufgrund der Ausbreitungseigenschaften der Trägerschwingung nicht rund um die Uhr mit gleich bleibender Störsicherheit und Empfangssicherheit ausgestattet ist. Positiv schlägt die extreme Frequenzökonomie zu Buche, die aber auf Kosten besagter Klangqualität geht. Für das Gebiet von Sachsen ist die zu

Grunde liegende Mittelwelle zudem ungeeignet, weil die Streuverluste in benachbarte Regionen zu hoch sind.

DVB als Plattform für das Radio zu nutzen ist nur eine reine Ersatzlösung. Das Audiosignal „huckepack mitnehmen zu lassen“ schränkt die Mobilität beim Empfang empfindlich ein. Für die Kabel- oder die Satellitenvariante wäre sie sogar unmöglich. Und auch bei DVB-T wäre noch immer ein Fernsehempfangsgerät nötig um Radio zu hören.

DAB und seine Weiterentwicklung DAB+ bieten sowohl gute Datenraten, als auch eine gute mobile Empfangbarkeit mit entsprechender Qualität und geringer Störanfälligkeit (zum Beispiel im Auto). Zudem sind die Kosten für die Empfangsgeräte vergleichsweise niedrig. Es werden also die Forderungen der Hörer nach hoher Empfangssicherheit und zusätzlichen Informationen ebenso erfüllt, wie die Wünsche der Programmanbieter, die gleichfalls zusätzliche Informationen übermitteln wollen, um Hörer zu binden bzw. sich neue Hörschichten zu erschließen.

Für einen landesweiten Rundfunkanbieter in Sachsen ist daher die Technologie DAB empfehlenswert. Da immer ein ganzes Ensemble belegt werden muss, sollte jedoch eine Zusammenarbeit mit öffentlich-rechtlichen und/oder anderen privaten Programmanbietern erfolgen. Damit ließen sich zudem die Kosten verringern. Diese Empfehlung ist jedoch nur anhand zur Verfügung stehenden Daten und in der Arbeit beschriebenen Informationen entstanden und kann daher weitere Einflüsse nicht mit einbeziehen.

Literaturverzeichnis

Bücher und Zeitschriften:

DAMBACHER, PAUL: Digitale Technik für Hörfunk und Fernsehen, R. v. Decker's Verlag, Heidelberg, 1994, S. 43, 100

GEHRING, GÜNTHER: Rundfunk – Ohne Technik geht es nicht, in: ARD und ZDF(Hrsg.): Was Sie über Rundfunk wissen sollten, Materialien zum Verständnis eines Mediums, VISTAS Verlag, Berlin, 1997, S. 303f.

HEINRICH, JENS: Eine kurze Chronik der Funkgeschichte, Funkverlag Bernhard Hein e.K., Dessau-Rosslau, 2002, S. 32ff, 40ff, 71ff, 83ff

KLOSS, ALBERT: Geschichte des Magnetismus, vde-verlag, 1994, S. 232

LAUTERBACH, THOMAS: Digital Audio Broadcasting: Grundlagen, Anwendungen und Einführung von DAB, Franzis-Verlag, Feldkirchen, 1996, S. 19f, 20, 26ff, 30, 34, 38, 40ff, 63

OEHMICHEN, ECKHARDT: Aufmerksamkeit und Zuwendung beim Radiohören in: Mediaperspektiven 3/2001, Frankfurt am Main, S. 133, 139

RIEGLER, THOMAS: Digitales Radio – Alles über DAB, DRM und Web-Radio, Verlag für Technik und Handwerk GmbH, Baden-Baden, 2004, S. 94ff 88ff

WERLE, HORST (Hrsg.) in: Technik der Telekommunikation; Bd. 15: Technik des Rundfunks, Technik der Systeme, Rundfunkversorgung, R. v. Deckers Verlag, Heidelberg, 1989, S.48ff

Internet:

ARD

http://www.ard.de/intern/basisdaten/mediennutzung/zeitbudget_20f_26_23252_3Br_20audiovisuelle_20medien/-/id=54984/sfyd65/index.html,
13.06.2008

und

http://www.ard.de/intern/basisdaten/mediennutzung/zeitbudget_20f_26_23252_3Br_20audiovisuelle_20medien/-/id=54984/sfyd65/index.html, 01.04.2008

Bayerische Landesmedienanstalt:

http://www.blm.de/inter/de/pub/aktuelles/pressemitteilungen/pressemitteilungen.cfm?fuseaction_pre=detail&prid=1009&

DAB Schweiz:

<http://www.dab-digitalradio.ch/?lang=de&c=standards>, 12.5.2008

Fachhochschule Friedberg:

http://www.fh-friedberg.de/fachbereiche/e2/telekom-labor/zinke/fourier/dipl_htm/dpl03.htm, 30.05.2008

Fachhochschule Wedel:

<http://www.fh-wedel.de/~si/seminare/ss02/Ausarbeitung/9.digitalaudio/img/image014.png>,
12.07.2008

Hintergrundpapier zum Vortrag von RA Thomas Kleist, Berlin, 20. September 2006

einsehbar unter: http://www.emr-sb.de/news/emr_kleist_2009_2006.pdf,
17.04.08

Initiative Marketing Digital Radio IMDR e.V.:

<http://www.digitalradio.de/digital-radio/suche-empfangsgeraete/>,
20.09.2008,

und

<http://www.digitalradio.de/de/programm/programme/main.php?Action=Dopublics.dbStationSearch&stationType=0&bundesland=0&order=provider>,
23.08.08

Initiative Radiozentrale:

<http://www.radiozentrale.de/site/64.0.html>, 27.09.2008

<http://www.radiozentrale.de/site/540.0.html>, 27.09.2008

MA 2008 Radio II einsehbar unter:

<http://www.reichweiten.de/index.php?mode=mar>, 27.08.2008

Norddeutscher Rundfunk

http://www.ueberallfernsehen.de/data/dvb-t_deutschland_stand_26.08.08.pdf, 29.08.2008

Magazin Teltarif:

<http://www.teltarif.de/arch/2007/kw42/s27553.html>, 27.4.2008

Radio Bremen:

<http://www.radiobremen.de/radio/rds.html>

RENNER, TIM: Die Zukunft des Radios bei:
<http://www.spiegel.de/netzwelt/tech/0,1518,444685,00.html>, 14.03.2008

OEHM, EHRHARD: Interview in: Meinungsbarometer Digitaler Rundfunk,
April 2005, einsehbar unter: http://www.dr-m.info/Meinungsbarometer/download/Meinungsbarometer_April_2005.pdf, 26.09.2008

Online Lexikon IT Wissen:

<http://www.itwissen.info/definition/lexikon/DVB-cable-DVB-C.html>,
14.04.2008

und

<http://www.itwissen.info/definition/lexikon/DVB-satellite-DVB-S.html>,
14.04.2008

und

<http://www.itwissen.info/definition/lexikon/DVB-terrestrial-DVB-T.html>,
14.04.2008

Sächsische Landesanstalt für privaten Rundfunk und neue Medien:

<http://www.slm-online.de/psk/slmo/powerslave,id,6,nodeid,6.html>,
15.09.2008, und

Sächsische Landesanstalt für privaten Rundfunk und neue Medien (Hrsg.):
Gesetz über den privaten Rundfunk und neue Medien in Sachsen, § 4,
Absatz 6, einsehbar unter: [http://www.slm-online.de/psk/slmo/dokukategorien/dokumanagement/psfile/file/91/S_chsP
RG_2404c33f78422e.pdf](http://www.slm-online.de/psk/slmo/dokukategorien/dokumanagement/psfile/file/91/S_chsP_RG_2404c33f78422e.pdf), 22.04.08 ebd. §34, Absatz 1,

Thiecom:

<http://www.thiecom.de/morphy-richards-drm-radio.html>, 19.09.2008

Trinloc GmbH:

<http://blog.trinloc.de/tag/zem/>, 21.09.2008

TU-Chemnitz:

[http://www.tu-chemnitz.de/urz/kurse/unterlagen/
multimedia/rsrc/quantisierung.png](http://www.tu-chemnitz.de/urz/kurse/unterlagen/multimedia/rsrc/quantisierung.png), 04.07.2008

Universität Köln:

[http://www.uni-koeln.de/rrzk/multimedia/dokumentation/audio/
sampling.html](http://www.uni-koeln.de/rrzk/multimedia/dokumentation/audio/sampling.html), 19.07.2008

Universität Wuppertal:

http://www.dasp.uni-wuppertal.de/ars_auditus/psychoak/psychoak4.gif,
11.07.2008

World DAB Forums:

[http://www.worlddab.org/
public_documents/dab_plus_brochure_200803.pdf](http://www.worlddab.org/public_documents/dab_plus_brochure_200803.pdf), 05.06.2008

und

http://www.worlddab.org/country_information/germany, 15.04.2008

und

<http://www.worlddab.org/cstatus.aspx>, 23.08.2008

Wikipedia Artikel Nyquist Shannon Theorem:

<http://de.wikipedia.org/wiki/Nyquist-Shannon-Abtasttheorem>, 05.06.2008

Wikipedia: Artikel Sampling:

[http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Bild:Dirac-
comb_Sampling.png&filetimestamp=20050906200330](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Bild:Dirac-comb_Sampling.png&filetimestamp=20050906200330), 15.06.2008

Sonstige Quellen:

Telefongespräch mit Michael Hüther, Deutschlandfunk Köln, 22.06.08

SCHÜLLER, JÜRGEN von der Sächsischen Landesanstalt für privaten Rundfunk und neue Medien (SLM) in: pers. E-Mail, Betr.: „Re: Anfrage zu UKW-Frequenzen“, 13.07.2006

MITTELDEUTSCHER RUNDFUNK (Hrsg.): Senderverzeichnis Mitteldeutscher Rundfunk, Kommunikation, Leipzig, 2005

Erklärung

Ich erkläre, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Ulm 30.09.2008